I buchi neri che spiegano la formazione delle galassie

Marzo 2012 € 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Come siamo diventati Homo sapiens

Secondo le più recenti scoperte della paleoantropologia, evoluzione fisica e uso di strumenti sofisticati sono andati di pari passo

Etologia

In cerca dell'organo per il senso magnetico degli animali

Medicina

Il meccanismo biologico che ritarda l'invecchiamento

Fisica

Il bizzarro fenomeno meteo che può aiutarci a capire il cambiamento climatico

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA - RIVISTA MENSILE - NUMERO 523

NOIA VS GIOIA.

La Nuova BMW Serie 3 sa vincere ogni sfida. Da quella dello stile, con un design innovativo che rende le sue linee slanciate e sportive, passando per quella della performance, con prestazioni da vera leader anche in termini di efficienza, fino a quella dell'innovazione, grazie alle sue avanzate dotazioni tecnologiche, come i sistemi BMW Connected Drive e l'Head-up display a colori. La sportività è sempre la scelta vincente.

NUOVA BMW SERIE 3. È LA PASSIONE A VINCERE. DALL'11 FEBBRAIO IN TUTTE LE CONCESSIONARIE BMW.

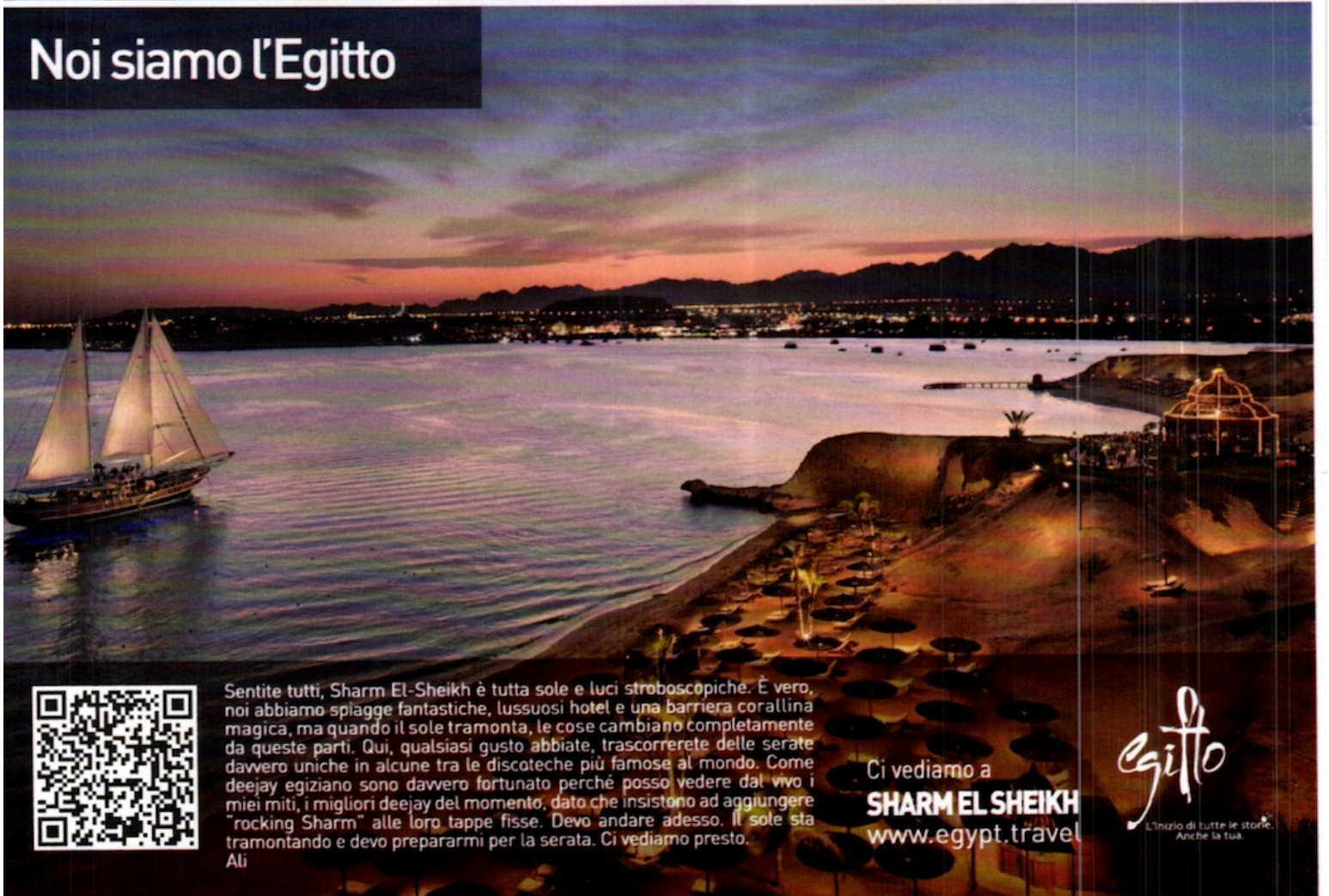
BMW EfficientDynamics
Meno emissioni. Più piacere di guidare.

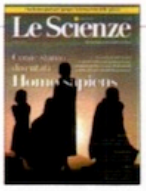
BMW Financial Services: la più avanzata realtà nei servizi finanziari. BMW e Castrol. Incontro al vertice della tecnologia. Consumi BMW Serie 3 (dalla motorizzazione
Emissioni CO_2 (g/km): da 109 (109) a 186 (169). I valori tra parentesi si riferiscono alle vetture con cambio automatico.

320d ED alla 335i) ciclo urbano/extraurbano/misto (litri/100km): da 5,2 (5,0)/3,5 (3,6)/4,1 (4,1) a 11,1 (10,2)/6,1 (5,5)/7,9 (7,2).

Noi siamo il relax

Noi siamo l'allegria


Noi siamo l'Egitto
Sentite tutti, Sharm El-Sheikh è tutta sole e luci stroboscopiche. È vero, noi abbiamo spiagge fantastiche, lussuosi hotel e una barriera corallina magica, ma quando il sole tramonta, le cose cambiano completamente da queste parti. Qui, qualsiasi gusto abbiate, trascorrerete delle serate davvero uniche in alcune tra le discoteche più famose al mondo. Come deejay egiziano sono davvero fortunato perché posso vedere dal vivo i miei miti, i migliori deejay del momento, dato che insistono ad aggiungere "rocking Sharm" alle loro tappe fisse. Devo andare adesso. Il sole sta tramontando e devo prepararmi per la serata. Ci vediamo presto.
Ali
Ci vediamo a
SHARM EL SHEIKH
www.egypt.travel
egitto
L'inizio di tutte le storie.
Anche la tua.



IN COPERTINA

La nostra specie è emersa in una sola tappa: la modernità dell'aspetto fisico di *Homo sapiens* non ha preceduto quella del comportamento, come invece si è ritenuto per lungo tempo. (Foto: Greg Davis/National Geographic Society/Corbis)

Sommario

marzo 2012
numero 523

58

COSMOLOGIA

32 Buchi neri intermedi

di Jenny E. Greene

Questa classe di buchi neri può darci indizi sulla formazione dei loro fratelli più grandi e delle galassie

BIOLOGIA

40 Una nuova strada verso la longevità

di David Stipp

Un meccanismo che rallenta l'invecchiamento potrebbe permettere di ritardare l'insorgere di malattie legate alla vecchiaia

ANTROPOLOGIA

48 Un'idea sbagliata sulle origini dell'uomo

di John J. Shea

Homo sapiens è emerso in una sola tappa: la modernità dell'aspetto fisico non ha preceduto quella del comportamento

COMPORTAMENTO ANIMALE

56 Il senso della bussola

di Davide Castelvecchi

Molti animali si orientano grazie al campo geomagnetico, ma non è facile capire come facciano

ESPLORAZIONE SPAZIALE

62 Verso lo spazio profondo

di Damon Landau e Nathan J. Strange

Adattando idee dell'esplorazione planetaria con sonde automatiche, il programma di voli umani della NASA potrebbe portarci agli asteroidi vicini e a Marte in tempi relativamente brevi e con spese contenute

IMMUNOLOGIA

70 Il paziente scienziato

di Katherine Harmon

Quando Ralph M. Steinman sviluppò un tumore al pancreas, sperimentò su se stesso le teorie sul cancro e sul sistema immunitario che aveva elaborato. Visse più a lungo del previsto, ma non abbastanza per sapere di aver ricevuto il premio Nobel

SOSTENIBILITÀ

76 Più cibo, meno energia

di Michael E. Webber

Produrre più cibo con meno energia e quindi con meno emissioni di gas serra è possibile, ma sono necessari cambiamenti nelle tecniche agricole, nelle politiche e nei comportamenti delle persone

FISICA

82 La scienza della gloria

di H. Moysés Nussenzveig

Uno dei fenomeni meteorologici più affascinanti ha una causa inaspettatamente complessa. Il suo studio aiuterà anche a prevedere il ruolo svolto dalle nuvole nei cambiamenti climatici

ARCHEOLOGIA

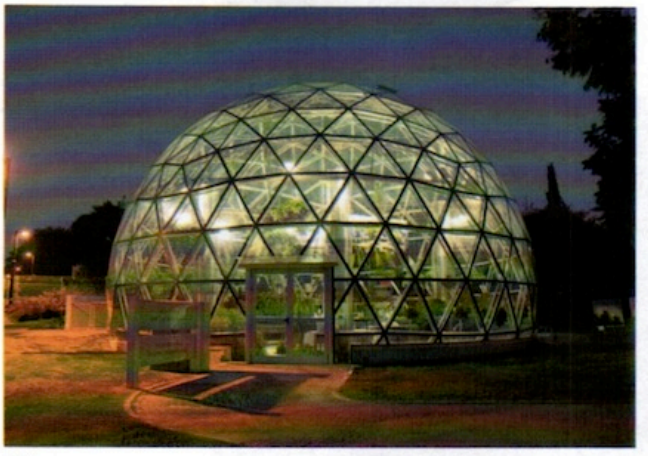
88 L'osservatorio solare più antico d'America

di Iván Grezzi e Clive Ruggles

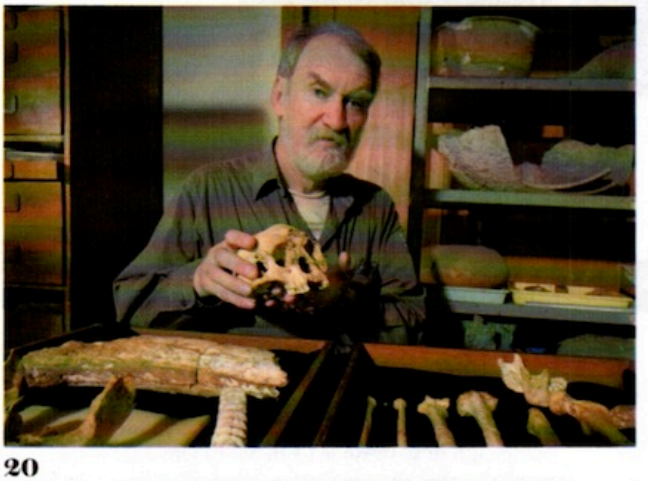
Il complesso cerimoniale di Chankillo, in Perù, fu abitato durante il IV secolo a.C. Le ricerche hanno rivelato che serviva per la professione di un raffinato culto del Sole, molto precedente a quello degli Inca

Megan Caponetto (*styling*); fotografia di Christopher Griffith

Sommario



12



20

105

Rubriche

9 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

10 **Anteprima**

11 **Lavori in corso**

12 **Intervista**
La formula del Weizmann *di Giovanni Spataro*

14 **Made in Italy**
Tatuaggi ad alta tecnologia *di Letizia Gabaglio*

16 **Scienza e filosofia**
L' emblematica particella di Higgs *di Elena Castellani*

17 **Appunti di laboratorio**
Il cervello sotto stress *di Edoardo Boncinelli*

18 **Il matematico impertinente**
Formule ecumeniche *di Piergiorgio Odifreddi*

19 **Astri & Particelle**
Chiacchiericcio planetario *di Roberto Battiston*

20 **Homo sapiens**
La normalità dell'uomo di Flores *di Giorgio Manzi*

97 **Coordinate**
Ritratto di tsunami *di Giovanni Spataro*

98 **Rudi matematici**
Imposte e gabelle (anzi dazi)
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

100 **Libri & tempo libero**

104 **Povera scienza**
Il cigno nero e l'onere della prova *di Paolo Attivissimo*

105 **Pentole & provette**
Mascarpone fai-da-te *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

23 L'Asia è sempre più vicina
24 Transistor organici sottovuoto
24 La personalità magnetica del grafene
24 Laser a raggi X, due prime assolute
25 Il parto della supernova
25 Mappa della materia oscura mai vista prima
26 Innovazione in tempo reale
26 I polpi editano l'RNA
27 Quanto ci vuole dal topo all'elefante?
27 Scimmie con sei genomi
28 Variazioni al buio
28 Antenati diversi per i cani domestici
28 Il rischio calcolato delle antropomorfe
29 Le affirmative action funzionano
29 La stabilità cognitiva è scritta nel DNA
30 Brevissime

Cortesia Weizmann Institute (*biosfera*); Diuna Iveleigh (*uomo di Flores*); Laurence Mouton/ZenShui/Corbis (*tramisù*)

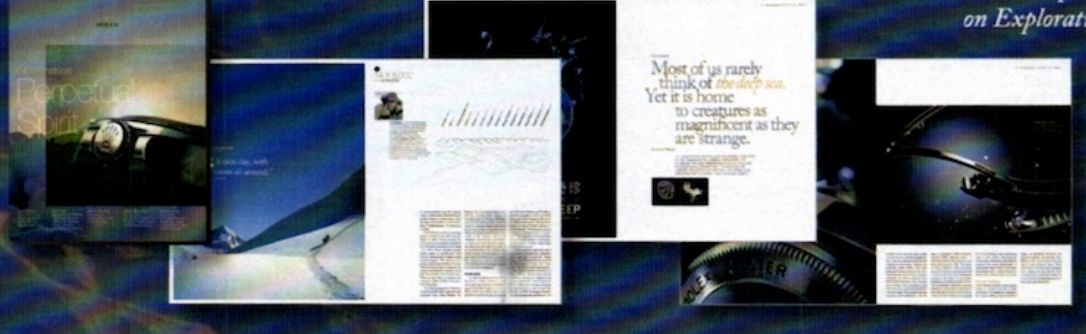
Ripercorri le più sorprendenti avventure, dagli abissi marini ai confini polari, nel numero speciale

Esplorazioni

Perpetual Spirit

› **Ricevi la tua copia omaggio compilando il modulo che trovi su *www.rolex.com/exploration***

› Questa pubblicazione speciale Rolex è disponibile anche in inglese su iPad AppStore: *Rolex Perpetual Spirit Magazine on Exploration*



ROLEX

Acer recommends Windows® 7.

acer

ASPIRE S3

Get the edge

Ultra-slim
Instant On*
Instant Connect**

A partire da 799 €

Per divertirsi ovunque

Windows 7

www.acer.it/aspire-s3

* Acer Green Instant On consente il riavvio dallo stand by in meno di 2 secondi. Tempo calcolato con applicazioni standard Microsoft aperte.

** Richiede l'accesso ad una rete wireless

© 2012 Acer Incorporated. All rights reserved. Acer and the Acer logo are registered trademarks of Acer Inc. Other trademarks, registered trademarks, and/or service marks, indicated or otherwise, are the property of their respective owners.

di Marco Cattaneo

Uomini di scienza

La lezione di Ralph Steinman, Nobel postumo

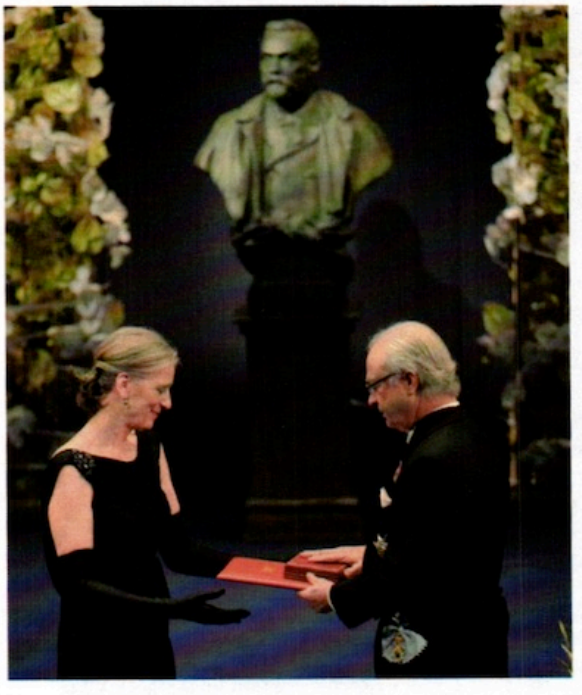
L'assegnazione del premio Nobel per la medicina 2011 a Ralph Steinman, insieme a Bruce Beutler e Jules Hoffmann, ha destato scalpore. Era la prima volta che, contrariamente alle regole della Fondazione Nobel, il premio veniva assegnato postumo.

Ma non c'era nessun errore. La chiamata da Stoccolma – la telefonata più ambita di qualsiasi uomo di scienza – era arrivata la mattina di lunedì 3 ottobre, e Steinman era morto venerdì. Ma ne erano a conoscenza soltanto i suoi familiari, che avevano atteso tutto il weekend prima di informarne amici e conoscenti.

Il Nobel gli era stato conferito «per la scoperta della cellula dendritica e del suo ruolo nell'immunità acquisita». Non solo Steinman aveva scoperto, nel 1973, un tipo di cellula che nessuno aveva identificato prima di lui, ma ne aveva anche intuito il ruolo cruciale nel sistema immunitario. E avrebbe dedicato al loro studio tutta la sua carriera scientifica.

Quello che non tutti sanno, però, è che negli ultimi anni della sua vita Steinman ha messo alla prova su se stesso la validità delle sue scoperte, sottoponendosi a tutta una serie di terapie sperimentali per cercare di battere il cancro partendo proprio dall'azione delle cellule dendritiche. Era l'inizio del 2007 quando gli fu diagnosticato un tumore al pancreas già diffuso ai linfonodi. La prognosi, in questi casi, dice che l'80 per cento dei pazienti colpiti non arriva all'anno di sopravvivenza.

Steinman non esitò a coinvolgere i suoi collaboratori in una sperimentazione pionieristica che gli ha permesso di vivere e lottare per quasi cinque anni. La sua unica frustrazione, come scienziato, era sapere che i risultati di un esperimento condotto su un solo paziente non possono essere addotti come prova della validità della terapia.



Alla memoria. Claudia Steinman riceve dalla mani del re di Svezia il premio Nobel per la medicina assegnato al marito Ralph appena tre giorni dopo la morte.

A raccontarci nei dettagli la sua storia è Katherine Harmon, a pagina 70. Ma la passione di Steinman, la sua umanità, non sono un caso isolato. Sono invece il motore che spinge migliaia di ricercatori a consacrare la loro vita al progresso della conoscenza, senza risparmiarsi. Per il futuro di tutti. Sarebbe una lezione da ricordare, ogni volta che celebriamo il cammino della scienza. Ma anche ogni volta che ne dobbiamo registrare i fallimenti.

Anders Wiklund/Scanpix/epa/Corbis

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
docente di fisica sperimentale, Università di Perugia

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
docente di filosofia della scienza, Università di Milano-Bicocca

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

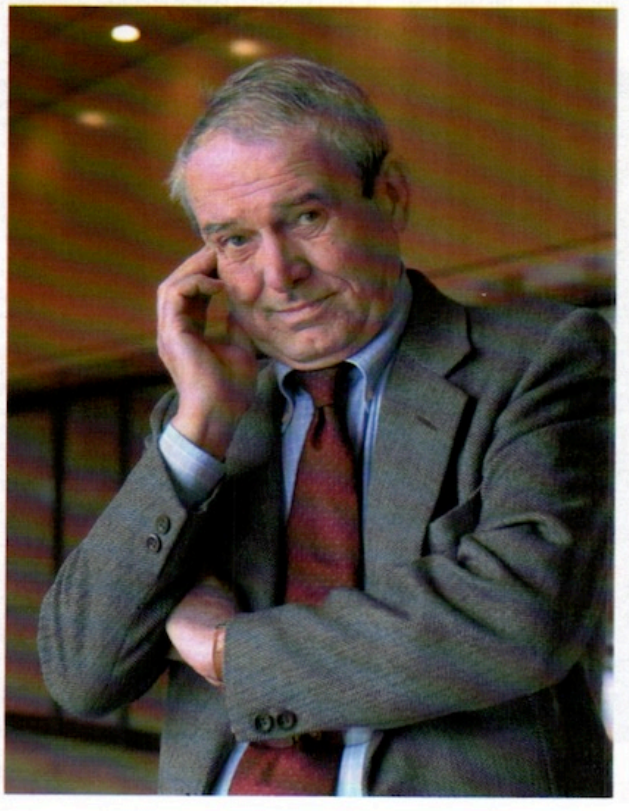
Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

La scienza di Enrico

A richiesta con «Le Scienze» di aprile una raccolta di libri di Enrico Bellone

Lo scorso anno, nella notte tra il 15 e il 16 aprile, Enrico Bellone, già direttore per 15 anni di «Le Scienze», ci lasciava. In occasione del primo anniversario della scomparsa di Enrico – permetteteci di rinunciare per una volta alla giusta distanza che chi fa il nostro lavoro dovrebbe sempre avere – a richiesta con il numero di aprile di «Le Scienze» pubblicheremo *Quattro saggi sulla scienza*, volume che raccoglie quattro libri pubblicati da Enrico tra 2008 e 2011. Solo in apparenza non legati tra loro, i testi che abbiamo scelto sono in realtà uniti da un filo rosso ben riconoscibile: la lucidità di pensatore di Enrico coniugata con la sua dedizione per la causa della cultura scientifica.



Ecco perché ad aprire la raccolta è *L'origine delle teorie*, in cui è affrontato il tema dello sviluppo culturale. In questo libro Enrico ha proposto un modello naturalistico dello sviluppo delle culture in cui si elimina la distinzione tra corpo e mente. In altre parole non si distingue più tra evoluzione biologica ed evoluzione culturale, ma si assume che origine e trasformazione delle teorie, e più in generale dei processi culturali, siano fenomeni di tipo biologico, quindi non governati da una logica interna, privi di un finalismo e assimilabili a processi di adattamento all'ambiente mutevole. Un ambiente che in alcuni casi può essere straordinariamente fecondo, come quello di cui è stato testimone Galileo Galilei e la sua rivoluzione culturale prima ancora che scientifica, che però, secondo Bellone, poggia su eredità intellettuali ancora più lontane nel tempo.

La vicenda di Galilei, a cui è stata intitolata la cattedra di storia della scienza che Bellone ha occupato per anni all'Università di Padova, è stata uno dei suoi cavalli di battaglia. Nel suo *Galilei e l'abisso*, il secondo libro che vi proponiamo, filosofia della scienza e narrativa si fondono per ragionare ancora una volta sull'evoluzione della cultura e in più sulla banalizzazione dell'attribuire a Galilei l'invenzione del metodo scientifico. Tutto ruota attorno a *Dialogo de Cecco di Ronchitti da Bruzene. In perpuosito de la Stella Nuova*, libretto in dialetto padovano stampato nel 1605 e di autore incerto, ma da molti, tra i quali Bellone, attribuito a Galileo. La stella nuova, la supernova apparsa nel 1604, fu un fenomeno del tutto inatteso, che mandò in pezzi la rassicurante regolarità delle fisse e immutabili che splendevano nel cielo europeo del XVII secolo. Ma perché la nostra specie cerca tracce di regolarità «nel groviglio di stimoli che dall'esterno ci piovono addosso»?

La risposta di Enrico si trova in *Qualcosa, là fuori*, il terzo libro che vi proponiamo, una riflessione sul modo in cui il nostro cervello crea la realtà, come recita l'eloquente sottotitolo. Le regolarità che osserviamo altro non sono altro che una necessità, un risultato obbligato dell'interazione tra fenomeni, sistema percettivo e organizzazione cerebrale. È l'indagine scientifica ad «aprirci gli occhi», a creare varchi di conoscenza nel muro dell'apparenza dietro cui vorremmo rifugiarci, sono i ricercatori che lavorano nei laboratori di tutto il mondo.

L'ultimo dei quattro libri, quindi, non poteva che essere *La scienza negata*, in cui Bellone analizza il caso italiano della negazione della conoscenza scientifica, della «rivolta della ragione» che potrebbe avere conseguenze nefaste. Siamo ancora in tempo, scriveva. Ma del domani, avvertiva, non c'è certezza.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono richiedere, al prezzo di € 7,90, i volumi della **Biblioteca delle scienze**

telefonando al Servizio clienti: 199 78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari),

il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa).

Tania/A3/Contrasto

a cura di Giovanni Spataro

Un'altra vita non è possibile?

Uno studio avrebbe smentito la scoperta del batterio con DNA all'arsenico

Nuova puntata del caso del batterio scoperto nel Mono Lake, in California, che sarebbe in grado di sostituire fosforo con arsenico in alcune vie metaboliche e in molecole biologiche, DNA incluso (si veda *Gli alieni sono tra noi*, in «Le Scienze» n. 474, febbraio 2008). Il bizzarro microrganismo era stato annunciato su «Science» a dicembre 2010 e subito dopo diversi ricercatori avevano manifestato seri dubbi sull'accuratezza delle analisi illustrate nello studio.

Ora la microbiologa Rose Redfield dell'Università della British Columbia a Vancouver ha pubblicato su arXiv.org, un archivio di *preprint* scientifici, dati che costituirebbero una «confutazione» di risultati chiave del lavoro precedente. Gli autori della ricerca pubblicata su «Science» però non demordono e aspettano di vedere i dati di Redfield pubblicati su una rivista *peer reviewed*.

Galassie oscure

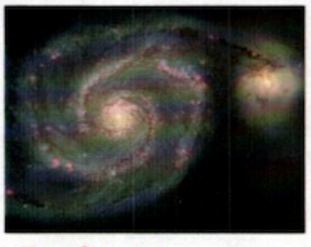


Foto di coppia. M51 con la compagna nana. Per spiegare alcune proprietà delle galassie si ipotizza l'esistenza di nane oscure.

Per spiegare perché il disco della nostra galassia, la Via Lattea, ha una deformazione pronunciata del bordo esterno, gli astronomi ipotizzano l'esistenza di numerose galassie nane satellite. I conti però non tornano, il numero delle galassie satellite osservato è troppo piccolo. I ricercatori ipotizzano quindi l'esistenza di galassie nane composte quasi solo di materia oscura (si veda *Il lato oscuro della Via Lattea*, in «Le Scienze» n. 520, dicembre 2011) oppure che ci sia un problema nel modo in cui pensiamo si formino le galassie.
Per chiarire la vicenda, alcuni scienziati vanno a caccia di galassie in tutto l'universo, anche in quello lontano, sfruttando le lenti gravitazionali. Grazie a questa caccia, un gruppo di ricerca internazionale ha annunciato in uno studio pubblicato su «Nature», a prima firma dell'italiana Simona Vegetti del Massachusetts Institute of Technology, di aver scoperto a circa 10 miliardi di anni luce dalla Terra una galassia nana oscura che dista meno di 2000 anni luce dalla galassia principale. La nana oscura ha una massa simile alla galassia nana ellittica del Sagittario, una delle satelliti della Via Lattea. Un punto in più per le teorie delle nane oscure satellite.

Quando le formiche si armano

Le formiche combattono le guerre tra colonie con strategie belliche simili a quelle degli esseri umani (si veda *Le formiche e l'arte della guerra*, in «Le Scienze» n. 522, febbraio 2012). In alcuni casi però possono andare addirittura oltre, con una corsa agli armamenti che può rispondere a stimoli ambientali.
Per esempio, otto specie di formiche del genere *Pheidole* su un totale di 1100 possono contare su supersoldati, cioè esemplari di dimensioni gigantesche. Ora uno studio pubblicato su «Science» da ricercatori della McGill University ha dimostrato che potenzialmente ogni esemplare di qualsiasi specie di *Pheidole* potrebbe diventare un supersoldato, basta trattarlo con la molecola giusta. Gli scienziati hanno scoperto che l'apparato genetico per il fenotipo supersoldato si trova in tutte le specie di *Pheidole* e si è evoluto da un antenato comune del genere. Inoltre i ricercatori hanno indotto lo sviluppo di supersoldati in una specie di *Pheidole* in cui sono assenti trattando le larve con un ormone, la neotenina. Gli stimoli ambientali quindi possono guidare la corsa agli armamenti delle formiche.

Commilitoni. Supersoldato dalla morfologia caratteristica comunica con un'operaia *minor* del genere *Pheidole*.

Quasicristalli spaziali

Qualche mese dopo l'assegnazione del premio Nobel del 2011 per la chimica a Daniel Shechtman, lo scienziato israeliano che li ha scoperti, i quasicristalli tornano a stupire (si veda *Cristalli impossibili, o quasi*, in «Le Scienze» n. 522, febbraio 2012). Un gruppo di ricerca guidato dall'italiano Luca Bindi, ricercatore all'Università di Firenze e all'Istituto di geoscienze e georisorse del CNR, ha infatti dimostrato l'origine extraterrestre di un quasicristallo.
Shechtman aveva scoperto i quasicristalli nel 1982 in una lega prodotta in laboratorio e per lungo tempo si era ritenuto che non potessero esistere in natura. Qualche anno fa invece è stato scoperto il primo quasicristallo naturale, in campioni di minerale trovati in Russia nel 1979 e conservati a Firenze da Bindi. Ora lo studio del ricercatore italiano, pubblicato su «Proceedings of the National Academy of Sciences», ha dimostrato che quel campione, e il quasicristallo che custodisce, non sono altro che un frammento meteoritico risalente a 4,5 miliardi di anni fa.

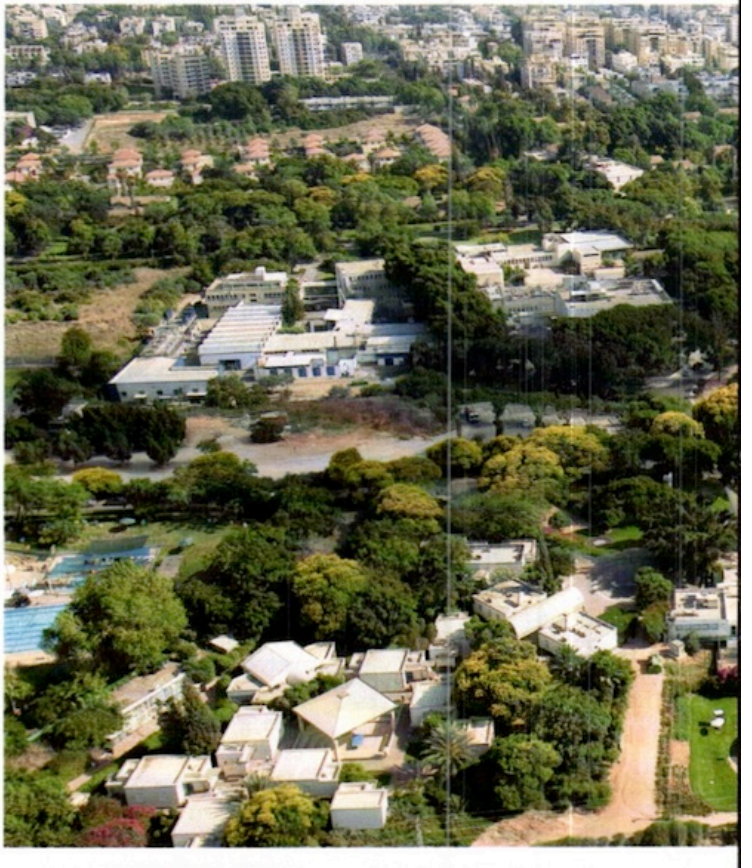
Cortesia Henry Bortmman (*Mono Lake*); cortesia NASA, ESA, S. Beckwith, STScI, The Hubble Heritage Team, STScI/AURA (*M51*); cortesia Alex Wild/alexanderwild.com (*formiche*)

di Giovanni Spataro

La formula del Weizmann

Per Daniel Zajfman, presidente dell'israeliano Weizmann Institute, il fattore umano è fondamentale per essere tra i primi al mondo, addirittura più del campo di ricerca

C'è un piccolo paese in una delle aree più turbolente del mondo che basa buona parte della sua economia e della sua esistenza su scienza e tecnologia. Israele investe il 4,3 per cento del prodotto interno lordo in ricerca e sviluppo, la percentuale più alta al mondo, ed è probabilmente secondo solo agli Stati Uniti nel numero di imprese *start-up* ad alta tecnologia. Tutto questo è possibile grazie a un sistema di eccellenza in cui spicca il Weizmann Institute of Science di Rehovot, che conta 2200 scienziati ed è diretto da Daniel Zajfman. Di recente, con l'obiettivo di stabilire ulteriori contatti con il mondo italiano della ricerca, il Weizmann ha organizzato un incontro al CNR di Roma, a cui ha partecipato anche l'ambasciatore di Israele Gideon Meir, durante il quale il professor Zajfman ha illustrato le ragioni del successo dell'istituto che dirige.



Il Weizmann fu fondato come Daniel Sieff Research Institute nel 1934, prima cioè della nascita dello Stato d'Israele nel 1948, su iniziativa di Chaim Weizmann, al quale oggi è intitolato l'istituto, che in seguito sarebbe diventato il primo presidente israeliano. C'è coscienza di tutto questo nel suo paese?

Come ha ricordato, il primo presidente d'Israele è stato anche presidente di un'istituzione scientifica. Questo evento mostra l'impatto delle scienza non solo sul popolo israeliano, ma anche sul popolo ebraico. Quando parlo di aspetti culturali, mi chiedono spesso come è riuscita la scienza in Israele ad avere un impatto tanto grande in sessanta, forse settant'anni. Io rispondo che è una questione che non riguarda i sessant'anni dello Stato d'Israele, ma i 4000 anni della tradizione ebraica.

Per essere chiari, c'è qualcosa nella tradizione ebraica che non fa accettare i dogmi così facilmente, e quindi li mettiamo in discussione. Se facciamo qualche passo in avanti e arriviamo alla scienza vediamo che l'unico modo per ottenere il progresso è la discussione. Come scienziati amiamo tutto questo e penso che tutto questo, ovvero mettere in discussione, sia profondamente radicato nella cultura ebraica.

Quali sono i campi di ricerca dell'istituto?

Non prendiamo mai decisioni riguardo un determinato campo, ma investiamo in tutti, dalla matematica pura alla *computer science*, dalla fisica alla chimica, alla biologia. Penso che non si possa guadare realmente nel futuro, tra 30-40 anni, e decidere dove investire oggi. È una decisione estremamente rischiosa, che non è possibile basare su veri argomenti. Quello che sappiamo è che il sostegno ai migliori scienziati, in ogni campo, porterà al successo. La storia della scienza mostra che la differenza la fanno individui eccezionali che sono stati sostenuti. La nostra filosofia quindi è scegliere lo scienziato, non il campo di ricerca.

Si tratta di ricerca di base o di applicata?

Per la maggior parte è ricerca di base. Tuttavia, quando grazie a questa ricerca guidata dalla curiosità facciamo scoperte che potrebbero essere utili per la società cerchiamo di commercializzarle. Attualmente abbiamo il più grande portafoglio di brevetti di Israele, e il tasso di commercializzazione più alto rispetto a tutti gli altri istituti del mondo. Siamo estremamente efficaci. Lo scorso anno il mercato di prodotti basati su idee del Weizmann è arrivato a 20 miliardi di dollari. È sbagliato pensare che ricerca applicata e ricerca di base siano in contrapposizione tra loro.

Come fate a essere uno degli istituti di punta nel mondo, pur facendo parte di una nazione molto piccola?

Ci riusciamo grazie alla nostra filosofia, che come ho detto è scegliere le persone. È molto importante. Per esempio, tutti crediamo sia importante investire nella ricerca energetica. È un tema attuale, ma non è un'idea nuova; noi scienziati lo sappiamo e per molti anni ci sono state idee interessanti. Il punto è se investi-

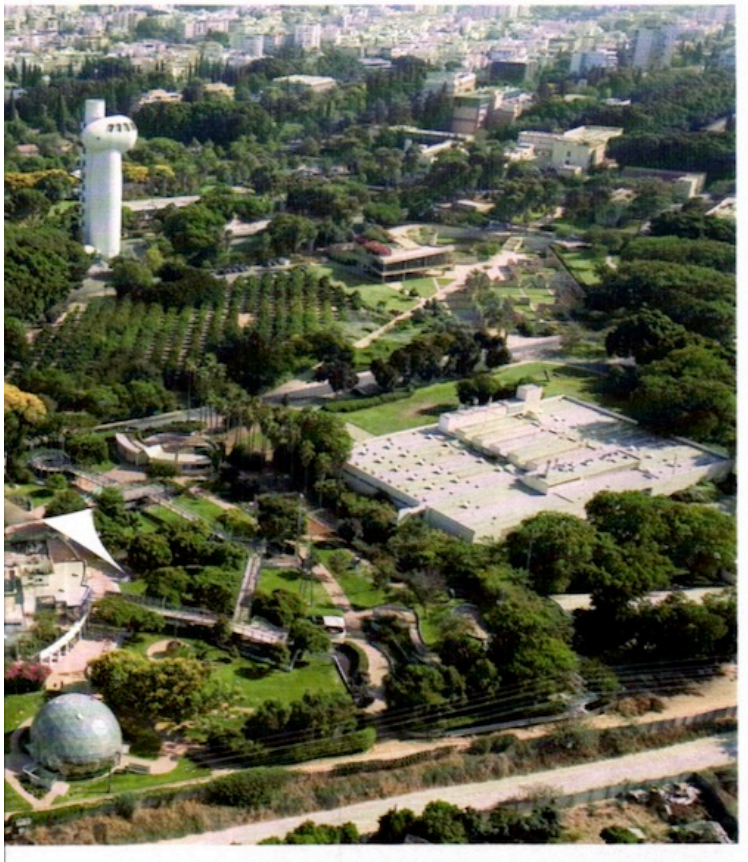
Cortesia Weizmann Institute of Science (foto in questa pagina e nella pagina a fronte)

CHI È

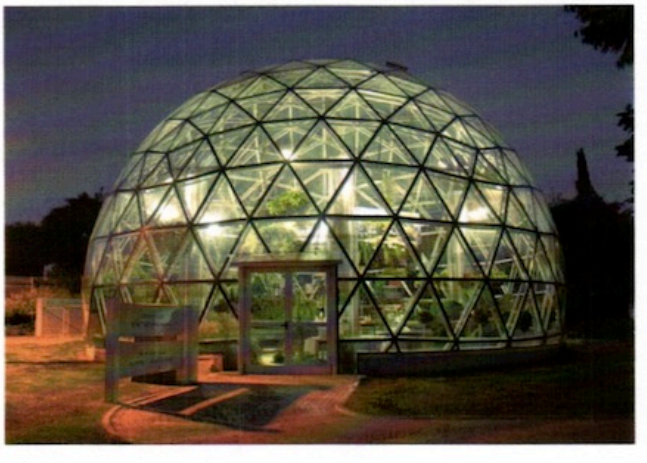
Daniel Zajfman, nato in Belgio nel 1959, si è trasferito in Israele nel 1979. Si è laureato nel 1983 all'Israel Institute of Technology (Technion) di Haifa, dove nel 1989 ha ottenuto il Ph.D. in fisica atomica.

Nei successivi due anni ha lavorato all'Argonne National Laboratory, presso Chicago, come assegnista di ricerca. Nel 1991 è diventato *senior scientist* del Weizmann Institute of Science e nel 2003 è diventato professore dell'istituto. Nel 2001 è stato eletto membro esterno del Max-Planck-Institut für Kernphysik di Heidelberg, di cui nel 2005 ha assunto la carica di direttore, fino al 2006.

Nel novembre 2006 è stato eletto presidente del Weizmann Institute, diventando, a 47 anni, il più giovane dei dieci presidenti che hanno diretto l'istituto dalla sua fondazione.



A Rehovot. Sopra, veduta aerea del Weizmann Institute di Rehovot, 20 chilometri a sud di Tel Aviv. Sotto l'ecosfera dell'istituto israeliano.



re denaro in un campo importante oppure in uno in cui si hanno idee veramente interessanti. E qui torniamo al punto di prima. Siamo un istituto di punta perché facciamo quello che ci si aspetta da un istituto di punta, ovvero diamo libertà di azione agli scienziati, infrastrutture e studenti di prima qualità. Non ci si può aspettare un'innovazione fondamentale da persone straordinarie se poi queste persone vengono controllate.

Come valutate la ricerca e i ricercatori?

Allo stesso modo in cui valutiamo la musica. Come si valuta? Se piace, la si trova bellissima. Non c'è un singolo numero per valutare il musicista. Allo stesso modo non c'è un singolo numero per valutare i ricercatori, le persone che cercano di stabilire un business su una scala da uno a 100 non sanno di che cosa parlano. Io dico sempre che se si vuole valutare un ricercatore non solo si devono saper leggere i numeri, ma anche le lettere. Inoltre ritengo che la qualità della ricerca possa essere valutata solo da ricercatori, non a livello politico.

La politica può stabilire linee guida strategiche di indirizzo, la direzione in cui si vuole andare. Questo non vuol dire che ricercatori che lavorano su queste linee guida siano necessariamente bravi scienziati. Al Weizmann, quindi, li valutiamo in base alla qualità della nuova conoscenza che producono. Non sempre si possono confrontare arance e mele; voglio dire, è assai difficile confrontare i matematici con i biologi, non c'è modo di farlo.

Come ha appena illustrato, oltre alla ricerca di base siete anche molto efficienti nel trasferimento tecnologico. Come agite?

Nel 1959 abbiamo messo in piedi una della prima aziende al mondo per il trasferimento tecnologico: Yeda, che in ebraico vuol dire «conoscenza». Da oltre cinquant'anni Yeda è responsabile di trasformare le idee del Weizmann in brevetti e poi provare a commercializzarle. Questo processo non coinvolge gli scienziati, perché ritengo sbagliato che gli autori di una scoperta si occupino anche dell'eventuale entrata sul mercato. Gli scienziati non hanno idea di come commercializzare quello che trovano, è un lavoro da professionisti che deve essere gestito da altre persone. Una scoperta che si pensa fantastica potrebbe rivelarsi un disastro sul mercato. A volte è troppo presto, altre si hanno scoperte che sembrano inutili dal punto di vista applicativo e magari dopo 20-30 o anche 100 anni si trova che sono ottime scoperte.

Prendiamo come esempio il GPS e la teoria della relatività. Il GPS non funzionerebbe se la teoria della relatività fosse sbagliata. Ma quando Albert Einstein ha elaborato la relatività non l'ha certo brevettata e non aveva idea del GPS. Quando facciamo trasferimento tecnologico dobbiamo sempre considerare che per alcune conoscenze potrebbe essere troppo presto. Un giorno però qualcuno potrebbe trovare un'applicazione enorme per quella scoperta.

di Letizia Gabaglio

Tatuaggi ad alta tecnologia

Genefinity produce tatuaggi in oro e argento con una tecnica innovativa per la deposizione di film sottili che vuole applicare anche in altri processi industriali

Flessibili e creativi. I protagonisti del successo di Genefinity sono così, e grazie a queste loro caratteristiche sono riusciti a trasformare un progetto di ricerca nel campo del biomedicale in una tecnologia per il settore del lusso. Senza perdere di vista l'obiettivo finale, ma sfruttando gli umori del mercato. Tutto ha inizio nel 2005, quando Francesca Antoniolli e Stefano Maggiolino, dottorandi in ingegneria e scienza dei materiali all'Università di Trieste, e il loro *tutor* Nicola Scuor decidono di provare a fare del loro oggetto di studio – un sensore per analisi genetiche – un progetto industriale. Raccolgono la sfida di scrivere un *business plan* e partecipano a Start Cup, la competizione che scova nuove idee da finanziare nel mondo dell'accademia.

Il risultato è superiore alle loro aspettative: vincono la gara regionale e arrivano sesti a livello nazionale. «All'inizio per noi è stato un gioco, ma il riscontro che abbiamo ottenuto ci ha convinti che potevamo fare sul serio», racconta Antoniolli, oggi amministratrice di Genefinity. Sulla scorta di questo successo, i tre ingegneri raccolgono l'interesse di altri soggetti, non solo privati, ma anche l'Università di Trieste e la finanziaria regionale Friulia S.p.A., e nel 2006 nasce l'azienda che grazie a un *seed capital* iniziale riesce a programmare il lavoro per almeno un anno.

L'inizio con la diagnostica

L'obiettivo è realizzare un kit diagnostico per malattie genetiche a basso costo e facile da usare. «Sul mercato esistono apparati simili, ma devono essere usati da personale specializzato», va avanti l'ingegnere. «La nostra idea era mettere a punto un dispositivo semplice, che somigliasse a un telefono cellulare, da far usare al medico di famiglia». Uno dei punti chiave per lo sviluppo del progetto è la messa a punto degli *strip* monouso su cui depositare il campione biologico – un po' di saliva – da analizzare, proprio come succede con i dispositivi per l'autocontrollo del diabete, anche se con una goccia di sangue: «Si tratta di tessere simili a una carta di credito con piste metalliche; in particolar modo si usa l'oro, il metallo migliore a questo scopo», spiega ancora Antoniolli. Nasce così il processo GHOST (Genefinity High resolution One Step Transfer), brevettato dall'azienda.

Le cose sembrano quindi andare per il meglio, ma i finanziamenti languono e, per cercare di far quadrare i conti e mandare avanti le loro ricerche, gli ingegneri devono arrangiarsi con consulenze per aziende esterne. «È a questo punto che entriamo in contatto con una grande azienda dolciaria che ci chiede di pensare a tecnologie per creare giochi di nuova generazione per bambini. Così, rivedendo le nostre tecnologie in un'ottica diversa, nasce l'idea di usare GHOST per creare tatuaggi temporanei», dice Antoniolli. Ma alla flessibilità, quella che ha permesso ai ricercatori di deviare dal piano industriale iniziale, va aggiunta anche la creatività, cioè l'idea di mettere insieme tutti i tasselli della loro ricerca e di rimescolarli per ottenere qualcosa di diverso. Nello specifico, tatuaggi temporanei in oro e argento. «Sono in tutto e per tutto simili a quelli per i bambini, ma i disegni sono realizzati con strati sottilissimi di metalli preziosi», spiega l'ingegnere.

L'idea viene accolta a braccia aperte dal mercato, non solo quello italiano. Dopo il mercato interno, infatti, l'azienda di Trieste conquista quello europeo, ma il vero successo arriva dai contatti con il mondo arabo – Emirati Arabi Uniti, Arabia Saudita – e con Asia, l'India in special modo. I tatuaggi d'oro, o meglio la possibilità di ricoprire con sottili strati di metalli preziosi le superfici più diverse, sono diventati il *core business* dell'azienda, che ha dovu-

LA SCHEDA

Genefinity

Fatturato
900.000 Euro

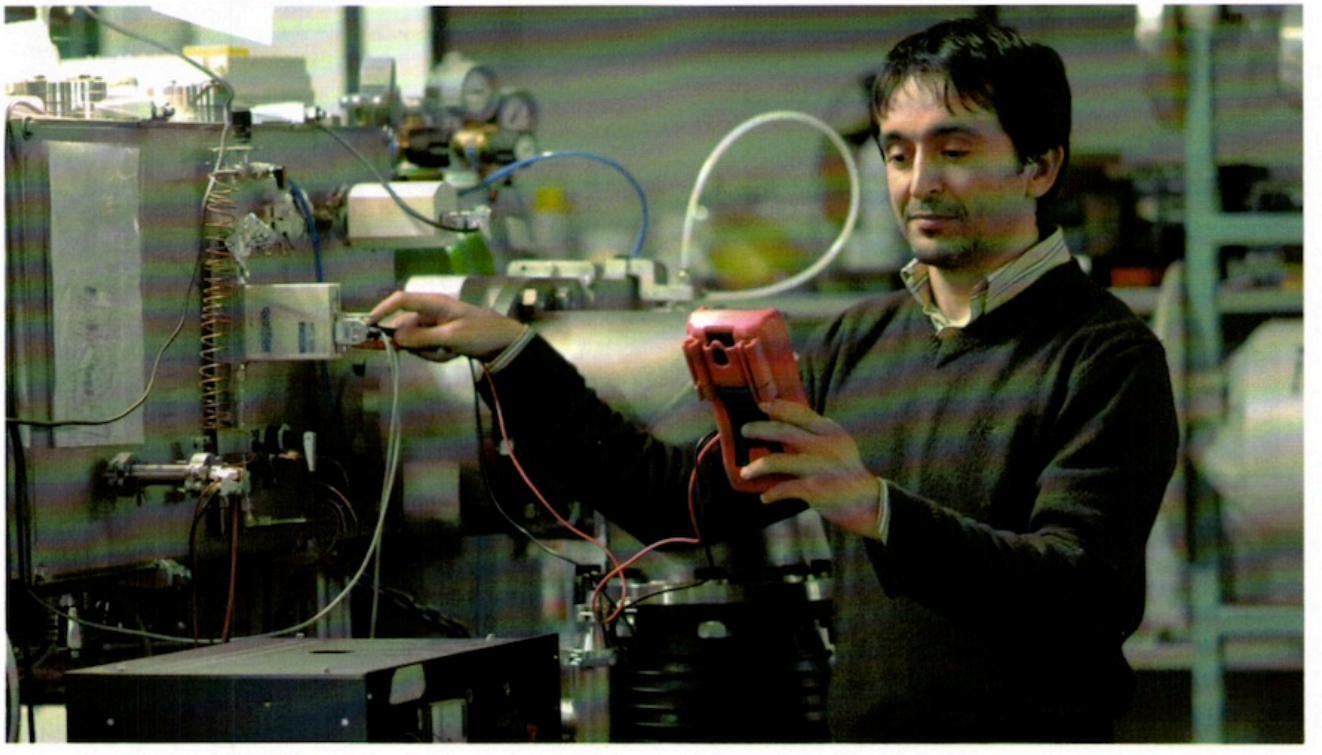
Dipendenti/collaboratori
18, di cui 30 per cento impiegato in R&S

Investimenti in ricerca
30-35 per cento del fatturato

Brevetti rilasciati
3

Mercato di lusso. Tatuaggio in sottilissimi strati di metalli preziosi prodotto con la tecnologia di Genefinity. In alto a fronte, il laboratorio dell'azienda triestina. In basso, alcuni dei soci fondatori.

Cortesia Genefinity



to trovarsi spazi più grandi (passando dai laboratori dell'Università di Trieste a capannoni industriali) e mettere in piedi un impianto pilota di produzione per soddisfare le richieste dei clienti. D'oro e d'argento, infatti, si possono rivestire piatti e bicchieri, mobili e cornici, ma anche generi alimentari. «Non abbiamo inventato niente, basti pensare alla cosiddetta tecnica della "foglia d'oro". La nostra tecnologia però permette di rivestire di metalli preziosi a un prezzo contenuto perché si usa meno materiale ottenendo lo stesso risultato estetico», dice Antoniolli.

Il sogno continua

Insomma, nel mercato del lusso gli ingegneri di Trieste hanno trovato la loro «mucca da mungere». Ma non hanno abbandonato il sogno iniziale, quel kit che nelle loro intenzioni era un progetto assai più meritevole. «Parte del fatturato derivante dai tatuaggi viene reinvestito in ricerca e sviluppo, proprio per portare avanti il progetto iniziale. Nel frattempo abbiamo unito le nostre forze con quelle di un'altra azienda che si occupa di certificazione biomedicale, che si occuperà di testare il dispositivo. Abbiamo iniziato i primi test e speriamo di avere il prodotto pronto nell'arco di un anno», va avanti Antoniolli.

I progetti di ricerca dell'azienda, però, non si fermano qui. Da una parte andranno avanti per migliorare le caratteristiche dei tatuaggi, dall'altra si indirizzeranno al *packaging* alimentare. L'idea in questo caso è usare la tecnologia proprietaria per rivestire di film sottilissimi sacchetti e confezioni di plastica così da diminuirne la permeabilità e aumentare il tempo di conservazione. E poi c'è spazio anche per un vecchio progetto: creare una cella fotovoltaica a basso costo e maggiore efficienza rispetto a quelle presenti sul mercato. Nel 2008 gli ingegneri di Genefinity ne avevano dimostrato la fattibilità, ma avevano dovuto abbandonare il loro sogno a causa della penuria di finanziamenti. Chissà che la storia del kit diagnostico non si ripeta.

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

L'emblematica particella di Higgs

Dalla previsione teorica ai recenti dati sperimentali, l'Higgs è un caso da manuale

La storia della particella nota come bosone di Higgs, o semplicemente Higgs (nei mezzi di comunicazione, anche «particella di Dio»), fornisce una traccia ideale per un manuale aggiornato di filosofia della scienza. Dal suo *incipit* nei primi anni sessanta, quando la particella fu introdotta in modo puramente teorico nell'ambito della teoria quantistica dei campi, all'attuale caccia a tracce della sua esistenza in due dei quattro esperimenti del Large Hadron Collider al CERN, la vicenda dell'Higgs mette in gioco gran parte dei temi principali della riflessione filosofica sulla scienza. A partire da come si scopra una nuova entità del mondo fisico e dal ruolo che questo ingrediente aggiuntivo svolge nel processo di elaborazione di una teoria, a che cosa ne implichi l'adozione dal punto di vista dell'accettabilità della teoria e rispetto alla credenza che essa sia vera, fino a come si arrivi a giustificare questa adozione sulla base di controlli sperimentali o di motivazioni d'altra natura.

La modalità d'introduzione dell'Higgs, per cominciare, rientra in un modo tipico di procedere nella fisica teorica: un nuovo elemento è scoperto o ipotizzato sulla base di considerazioni di carattere prevalentemente teorico, suggerite, alla luce dei requisiti fisici, da generalizzazioni o da perfezionamenti del formalismo matematico, come da analogie strutturali o concettuali con altri contesti teorici. La particella di Higgs fu infatti introdotta nell'ambito di ricerche volte a estendere alla teoria quantistica dei campi (intesa come il linguaggio della fisica delle particelle elementari) le considerazioni relative al fenomeno di rottura spontanea della simmetria usate nella teoria della superconduttività della seconda metà degli anni cinquanta.

Grazie a questa «fertilizzazione incrociata» tra fisica delle particelle e fisica della materia condensata, come sottolineato dal fisico Giovanni Jona-Lasinio (tra i protagonisti di questi sviluppi), si elaborò nel 1964 una procedura chiamata «meccanismo di Higgs», dal nome del fisico Peter Higgs, autore di contributi fondamentali. Attraverso questa procedura si riusciva a spiegare, nel quadro della teoria dei campi basata su simmetrie di gauge (le simmetrie locali nei termini delle quali si descrivono le interazioni fondamentali), l'origine della massa delle particelle in gioco (altrimenti senza massa, per via dell'invarianza di gauge della teoria). In questo meccanismo, diventato poi la chiave di volta per la costruzione del modello standard delle particelle, un ingrediente fondamentale è dato, appunto, dall'introduzione di una nuova entità, il bosone di Higgs.

Come si giustifica, allora, l'aggiunta di un nuovo oggetto fisico che avvenga nelle modalità sopra descritte? E quali motivazioni si possono dare per credere nell'esistenza effettiva di questa entità? Il problema tocca uno dei temi centrali del dibattito filosofico: le ragioni per credere o meno nella verità, o almeno l'adeguatezza empirica, delle teorie scientifiche. Le questioni che sorgono intorno allo statuto ontologico dell'Higgs non sono diverse da quelle inizialmente poste in relazione ad altre entità introdotte in modo teorico nella descrizione della natura. E come in quei casi la successiva osservazione sperimentale svolge un ruolo decisivo: si veda il caso del positrone (la prima anti-particella ipotizzata), previsto da Dirac nel 1930 e osservato un paio d'anni dopo, o quello delle particelle mediatrici della forza debole, introdotte nel contesto della teoria di gauge proposta nel 1967 per l'unificazione delle interazioni debole ed elettromagnetica e rilevate nel 1983 al CERN.

Seminario storico. Il seminario tenutosi al CERN il 13 dicembre 2011, durante il quale sono stati annunciati risultati cruciali a favore dell'esistenza del bosone di Higgs.

I dati comunicati a dicembre 2011 relativamente a possibili tracce dell'Higgs individuate negli esperimenti ATLAS e CMS in corso al CERN hanno suscitato grandi speranze. La questione dell'osservazione della particella è però molto complessa: sono in gioco diversi fattori, e non tutti di carattere strettamente scientifico. Resta comunque aperto il discorso relativo a che cosa succederebbe se, invece, non si osservasse poi nulla che si potesse davvero identificare come prova sperimentale dell'esistenza dell'Higgs. Le opzioni sono molte, alcune già previste, e, come ci insegna la storia della scienza, prima di buttare un quadro teorico di successo, come il modello standard, si proverebbero tutte le strade possibili.

Cortesia CERN

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Il cervello sotto stress

Quando siamo stressati aumenta la comunicazione tra le diverse aree cerebrali

Oggi si parla spesso, a proposito e a sproposito, di stress e di condizioni stressanti. Lo stress comunque è una realtà, e si presenta ogni volta che un soggetto si trova a rischio, anche presunto, e in ogni caso in cui la sua condotta sia obbligata a essere diversa da quella che gli riuscirebbe più naturale e consueta. Qualcosa non va, insomma, e il corpo si deve preparare al peggio, con in prima linea il cervello e i diversi sistemi integrati che sovrintendono alla vita di relazione. La risposta endocrina immediata a questa condizione è nota da tempo: nel sangue viene rilasciata subito una certa quantità di adrenalina, di corticosteroidi e di altre sostanze regolatrici dello stato generale del corpo. Ma che cosa succede poi? E qual è la condizione del cervello in queste circostanze?

È il tema di un recente studio di Erno J. Hermans (si veda «Science», Vol. 334, pp. 1151-1153), condotto su esseri umani. La nozione più interessante che se ne può ricavare è la riconfigurazione di vaste regioni del cervello che porta a un aumento della connettività, cioè della comunicazione, fra le diverse aree. Il cervello quindi è più pronto a rispondere *in toto*, con un incremento di «presenza» e di concentrazione. Lo stress, insomma, fa «trottare» più consapevolmente il nostro cervello, che si trova ad agire con una maggiore compattezza.

Condotta non ordinaria. Lo stress altera il funzionamento del cervello inducendo comportamenti non consueti.

Lo stress altera il modo di funzionare del cervello. Questo mutamento può essere interpretato come una ridistribuzione strategica di risorse fondamentali in favore di funzioni che sono di vitale importanza quando è in gioco la sopravvivenza. Si acuisce la potenza dei sensi e si genera uno stato generale di maggior vigilanza e attenzione, si rafforzano i ricordi di passate esperienze traumatiche mentre diminuisce la capacità di prendere decisioni ponderate e quindi lente.

Si sa da tempo che in queste condizioni sono rilasciati molti ormoni e neuromodulatori «di stato di crisi», che alterano le proprietà cellulari di ampie popolazioni di neuroni in diverse regioni del cervello. Gli autori ipotizzano che tutto ciò finisca per alterare la condizione generale del cervello riorganizzandone la connettività, e mettono alla prova questa ipotesi in un vasto studio del cervello umano che usa le tecniche più diverse.

Le regioni cerebrali interessate da questa riorganizzazione, con aumento della connettività, appartengono alla cosiddetta rete dell'attenzione e della significatività degli eventi (*salience network*) composta da aree corticali – quali la regione frontoinsulare, il cingolato dorsale anteriore, e le regioni inferotemporali e temporoparietali – e sottocorticali, quali l'amigdala, il talamo, l'ipotalamo e parte del mesencefalo.

Secondo gli autori, questi dati confermano le teorie che postulano un'architettura duale dei circuiti corticali di controllo dell'attenzione e della vigilanza. Oltre alla rete frontoparietale dorsale, che controlla la concentrazione dell'attenzione su compiti specifici e focali, ci sarebbe quindi una rete attenzionale ventrale, che distoglie l'attenzione da specifici obiettivi focali promuovendo il mantenimento di uno stato di allerta generalizzato. In questo contesto appare complesso il ruolo dei corticosteroidi, che non sembrano necessari per causare direttamente la serie di riorganizzazioni cerebrali osservata.

Altri dati sembrano suggerire per queste sostanze un ruolo protettivo contro gli sbalzi improvvisi dell'attenzione forzata e una migliore gestione dello stato generale di stress. Come è abbastanza logico aspettarsi, ci sono quindi sostanze che procurano uno stato d'allarme immediato e altre con un'azione più stabilizzante, che tendono a normalizzare, nei limiti del possibile, questo stato generale di allerta.

Altri dati, del gruppo di Giulio Tononi dell'Università del Wisconsin a Madison, sembrano suggerire che un'alta connettività di buona parte del cervello sia indice di un normale stato di coscienza, mentre la riduzione della coscienza si accompagnerebbe a una ridotta connettività. I due dati presi insieme aprono un'interessante finestra sul ruolo della compattezza del cervello e del livello di comunicazione fra le sue diverse aree.

Beathan/Corbis

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Formule ecumeniche

L'equazione dell'entropia di un buco nero e le costanti fisiche fondamentali

La formula più famosa della matematica è dovuta a Eulero, e lega insieme le cinque costanti fondamentali dell'aritmetica e dell'analisi, reale e complessa. Cioè i numeri interi 0 e 1, i numeri reali e e π, e l'unità immaginaria i, ossia la radice quadrata di -1. La formula stabilisce che $e^{i\pi}+1=0$, ed è semplicemente un caso particolare di una formula molto più generale, che lega insieme tre funzioni fondamentali dell'analisi: l'esponenziale complesso, il seno e il coseno.

In fisica, l'analogo della formula di Eulero sarebbe una formula che lega insieme le costanti fondamentali delle varie teorie standard: cioè teoria della gravitazione, termodinamica, relatività e meccanica quantistica. Sorprendentemente, una formula del genere esiste per davvero, ed è quella che fornisce l'entropia di un buco nero.

L'entropia misura il disordine dello stato di un sistema: di qui l'uso della lettera S, iniziale di «stato», per indicarla. Che anche un buco nero abbia entropia, e che essa sia proporzionale all'area del suo orizzonte degli eventi, è stato proposto nel 1972 dal fisico Jacob Bekenstein: un'intuizione interessante, visto che nella termodinamica classica l'entropia è proporzionale non alla superficie, ma al volume delle regioni considerate.

Il signore di buchi neri. Il fisico Stephen Hawking fotografato al Center for Mathematical Science dell'Università di Cambridge.

Quando si esprime un'entropia, è naturale farlo in termini della costante di Boltzmann k. Questa appare nella famosa formula $S = k\log W$, che è incisa sulla sua tomba a Vienna. Ma, in realtà, sia la formula sia la relativa costante sono state introdotte da Max Planck, nella sua altrettanto famosa memoria del 14 dicembre 1900 sull'irraggiamento del corpo nero, la stessa nella quale è stata introdotta anche la costante di Planck h per l'energia.

Il modo più semplice per capire il ruolo che la costante di Boltzmann riveste nella termodinamica è prendere in considerazione la legge dei gas perfetti. Questa legge afferma che, in un gas, «il prodotto della pressione per il volume è proporzionale alla temperatura». E la costante di proporzionalità è data dal prodotto della costante k di Boltzmann per il numero N di molecole del gas. In formula, $PV = NkT$.

La costante di Boltzmann rende conto della dimensionalità dell'entropia, che è un'energia divisa per una temperatura. Dunque, tutto il resto di una formula di entropia deve essere un numero puro. In particolare, se l'entropia deve essere proporzionale alla superficie di un buco nero, bisognerà dividere quest'ultima per un'area unitaria di riferimento. E in meccanica quantistica è naturale usare l'area di Planck, corrispondente a un quadrato di lato pari alla lunghezza di Planck l.

Quest'ultima indica la dimensione in cui la struttura dello spazio-tempo inizia a risentire degli effetti quantistici e ad assumere una natura «schiumosa». Non è sorprendente che la sua definizione faccia intervenire costanti che provengono sia dalla relatività generale sia dalla meccanica quantistica: cioè velocità della luce c, costante gravitazionale G e costante ridotta di Planck $\hbar$, che è pari ad $h/2\pi$. Precisamente, la definizione di l è la radice quadrata di $Gh/2\pi c^3$.

In sostanza, la proposta di Bekenstein si riduceva alla congettura che l'entropia di un buco nero avente un orizzonte degli eventi di area A fosse proporzionale a kA/l^2. Nel 1974 Stephen Hawking ha dimostrato che la congettura è corretta, e che la costante di proporzionalità è semplicemente 1/4. La formula completa è allora $S_{BH}=kA/4l^2$, dove BH sta sia per Black Hole sia per Bekenstein-Hawking.

La formula dell'entropia di un buco nero contiene dunque in sé le costanti fondamentali della termodinamica, della relatività speciale e generale e della meccanica quantistica. E anche, per buona misura, il pi greco! Esplicitamente, l'entropia di un buco nero il cui orizzonte degli eventi ha area A, è pari ad $Ak\pi c^3/2Gh$.

Più di così sarebbe difficile fare. A meno di riuscire a infilare in qualche formula simile anche l'unità immaginaria i. Questa unità interviene in effetti, insieme a $\hbar$, nell'equazione d'onda di Schrödinger. In quella relativistica di Dirac compare anche la velocità della luce c. E non è difficile immaginare che, nelle future equazioni della gravitazione quantistica, interverrà anche la G. Non ci rimane dunque che attendere lo sviluppo di queste equazioni, accontentandoci per ora dell'ecumenica formula di Bekenstein-Hawking.

Eleanor Bentall/Corbis

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Perugia
www.robertobattiston.it

Chiacchiericcio planetario

I meteoriti in arrivo da altri pianeti hanno una storia ancora tutta da scoprire

Fin da bambini siamo stati abituati a pensare che è normale che i sassi cadano dal cielo, anche se forse nessuno di noi ne ha mai visto uno mentre brucia nell'atmosfera. Le foto di crateri consumati dal tempo nei deserti del Nord America o la storia dei dinosauri scomparsi a causa di un cataclisma di origine spaziale sono immagini fortemente impresse nella nostra mente.

Non è sempre stato così. Il grande Newton aveva sostenuto infatti che per garantire il moto perfetto dei corpi celesti era necessario che lo spazio fosse vuoto di materia: un'intuizione corretta che però portava a una conclusione sbagliata che influenzò l'intera comunità scientifica.

Furono sviluppate le teorie più fantasiose, tra cui quella che i meteoriti fossero prodotti dai fulmini o che fossero pietre che ricadevano dopo essere state scagliate in aria da vulcani lontani. Quando, nel 1794, il fisico tedesco Ernst Chladni pubblicò un libro in cui sosteneva che i meteoriti venivano dallo spazio dovette subire dieci anni di attacchi e derisioni da parte dell'Accademia francese delle scienze. Solo nel 1803 Jean-Baptiste Biot, un fisico francese, analizzando la straordinaria caduta di migliaia di meteoriti avvenuta il 26 aprile 1803 in Francia, diede una spiegazione scientifica relativamente alla loro origine cosmica.

Oggi sappiamo che esistono enormi serbatoi di meteoriti, sia lungo l'orbita di alcuni pianeti sia in vaste zone del sistema solare in cui non si è attivato il meccanismo che ha ripulito le orbite formando in cambio pianeti e satelliti, quella sorta di aspirapolvere gravitazionale pazientemente al lavoro per decine di milioni di anni.

Però è forse meno noto che alcuni dei meteoriti che colpiscono la Terra vengono da altri corpi planetari, per esempio da Marte e dalla Luna. Ma come è possibile che un meteorite arrivi da un altro pianeta? E, soprattutto, come si fa a capire che un sasso, uno dei tanti che si trovano sulla Terra, è un meteorite?

Se un asteroide impatta su un pianeta circondato da un'atmosfera tenue o inesistente, i frammenti prodotti nell'impatto possono essere messi in orbita e dopo un certo tempo ricadere sulla Terra. Siccome su Marte abbiamo mandato strumenti che ne hanno analizzato la composizione isotopica (della Luna abbiamo addirittura dei campioni), l'analisi nucleare di un meteorite ci permette di capirne l'origine planetaria.

La ricerca dei meteoriti è relativamente semplice. Non si cercano sulle montagne o nelle campagne, ma in particolari zone desertiche o al Polo Sud, dove i sassi, di norma, non ci sono, tranne appunto i meteoriti. Ecco perché finora siamo riusciti a identificare una dozzina di meteoriti marziani, anche senza se nessuna sonda è mai tornata dal Pianeta Rosso. Per ora non siamo però riusciti a identificare nessun meteorite venusiano (la densità della sua atmosfera rende difficile la loro espulsione) o proveniente da Mercurio (dove non è ancora mai atterrata una missione spaziale). I pianeti, quindi, si scambiano, su scale di tempo inusuali per l'uomo, messaggi sotto forma di sassi bruciacchiati, dall'apparenza spesso insignificante, ma che potrebbero nascondere sorprese interessanti.

Il meteorite EETA 79001, ritrovato in Antartide nel 1980, ha fornito le prime prove decisive che i frammenti prodotti da impatti avvenuti su Marte potevano viaggiare fino alla Terra.

Come il meteorite ALH84001, un sasso di 1,9 chilogrammi trovato in Antartide nel 1984 e analizzato in dettaglio nel 1996: il 7 agosto di quell'anno la NASA, alla presenza del presidente Clinton, fece un annuncio clamoroso relativamente alla scoperta di tracce di batteri fossili all'interno di questo meteorite marziano. In seguito la cosa rientrò, poiché altri studi mostrarono che si trattava di strutture chimico-fisiche che si formano autonomamente in opportune condizioni, una sorta di illusione ottica che aveva ingannato gli scienziati della NASA: insomma, stiamo ancora imparando a capire i messaggi che si scambiano i pianeti.

Corbis

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

La normalità dell'uomo di Flores

I piccoli individui ormai estinti dell'isola indonesiana non erano *H. sapiens* patologici

Capita sempre più di rado di andare in biblioteca. Ormai si trova tutto o quasi tutto su Internet, anche quando l'articolo non è ancora stato pubblicato in formato (come si dice, quasi a decretarne una svalutazione) cartaceo. Nemmeno sono noti i numeri delle pagine e già ti puoi scaricare il *file* dal sito della rivista. Così ho qui, sullo schermo del mio computer, l'ultima puntata dell'epopea sulla specie umana estinta denominata *Homo floresiensis*: già disponibile *on line* ma ancora in pubblicazione sulle pagine del «Journal of Human Evolution».

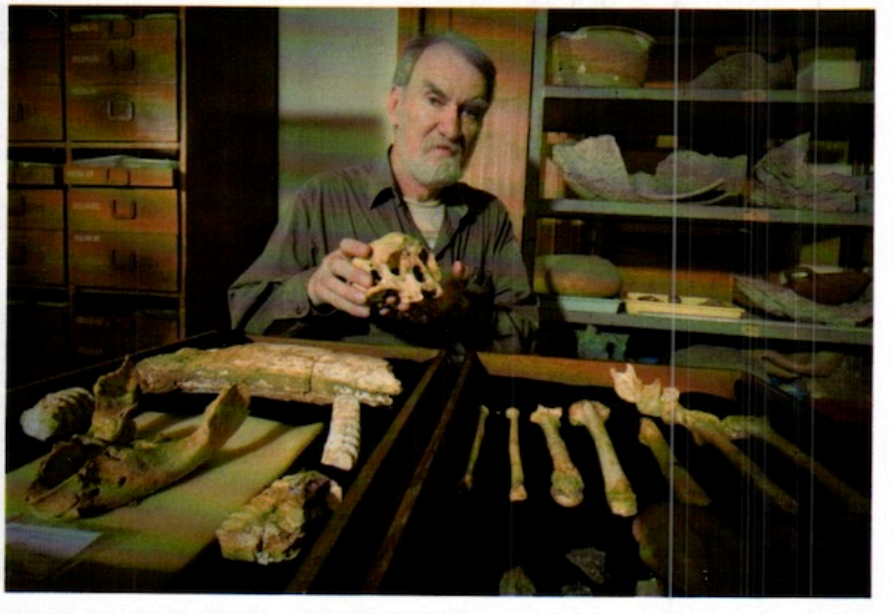
Avrete sentito parlare dei cosiddetti *hobbit* dell'isola di Flores, in Indonesia. Saprete allora che il nomignolo da saga tolkieniana deriva dal fatto che *Homo floresiensis* è rappresentato da individui piccoli, anzi piccolissimi: in particolare (ma non solo), conosciamo una femmina alta all'incirca un metro e con meno di mezzo litro di cervello (380-420 millilitri, per la precisione), trovata a circa sei metri di profondità nei sedimenti della grotta di Liang Bua, a Flores, e di cui conosciamo buona parte dello scheletro, siglato LB1. Abbiamo anche una datazione per l'hobbit LB1: 18.000 anni fa, un'epoca nella quale eravamo convinti che ormai da tempo sul pianeta ci fossero solo rappresentanti della nostra specie, *Homo sapiens*. Tanto per dare un riferimento, i cugini Neanderthal si erano estinti in Europa almeno 10.000 anni prima.

Quando è arrivato il primo annuncio di questa scoperta era la fine di ottobre del 2004, e ancora mi ricordo di quella telefonata con un collega di Madrid. Entrambi avevamo ricevuto in anteprima un file dell'articolo da giornalisti, nei confronti dei quali eravamo entrambi debitori di un parere da pubblicare sui loro quotidiani il giorno stesso dell'uscita della memoria scientifica su «Nature». Entrambi ci domandavamo che cosa pensare e come commentare questa straordinaria scoperta. Qualcuno ci stava facendo uno scherzo? O, comunque, si trattava di un errore scientifico dovuto a eccesso di entusiasmo da parte degli autori della scoperta? Oppure...

Gli aspetti sorprendenti erano parecchi, e qui ho solo modo di elencarli (magari ne riparliamo un'altra volta): la data così recente, le piccole dimensioni dello scheletro e in particolare quelle encefaliche, la collocazione dell'isola di Flores al di là di una delle più formidabili barriere biogeografiche del pianeta (la cosiddetta «linea di Wallace») e, al tempo stesso, le caratteristiche così umane, sebbene «arcaiche», di quello scheletro e di quel piccolo cranio. L'interpretazione, poi, degli scopritori lasciava interdetti. Proponevano una nuova specie del genere *Homo*, con la deduzione che si trattasse di un caso di «nanismo insulare»: quel fenomeno che comporta una sorta di impazzimento dei rapporti fra le diverse specie di un'isola, dove le condizioni ecologiche sono stravolte rispetto a quanto succede sulle grandi masse continentali.

Io e il mio amico di Madrid concludemmo che gli scopritori avevano ragione: era una nuova specie.

Ma nei mesi e negli anni successivi si levarono voci molto critiche, e spesso «interessate», che declassavano questa scoperta al caso di un *Homo sapiens* patologico. È successo tante volte nella storia della paleoantropologia, a cominciare dalla scoperta del 1856 a Neanderthal. Anche di recente, di nuovo, qualcuno ha proclamato affinità fra alcuni (ma solo alcuni) dei caratteri sia di LB1 che degli altri reperti scoperti in seguito a Flores e le caratteristiche di patologie umane come la microcefalia o il cretinismo ipotiroideo endemico. A queste critiche hanno però puntualmente replicato gli scopritori, proprio come fa con dovizia di dettagli e argomenti molto ben calibrati uno di loro – Peter Brown, dell'Università del New England ad Armidale in Australia – nell'articolo che ho appena scaricato da Internet.



Piccolo cranio. Mike Morwood, uno degli autori della scoperta di *H. floresiensis*, con in mano il cranio di LB1. Sul tavolo le ossa dell'hobbit, strumenti litici e resti di un piccolo elefante.

Djuna Ivereigh

Scoperto l'anello mancante tra l'uomo e il libro: la Libellula.

Libellule. Grandi storie di intensa brevità.

Colorate, lievi, veloci: sulle ali delle Libellule volano parole ed emozioni firmate dai più grandi scrittori italiani e stranieri. Pagine leggere nel formato e nel prezzo, storie indimenticabili pensate per accompagnarci in ogni momento della giornata. Leggi una Libellula: un tempo breve e sorprendente, il tempo di un volo.

LIBELLULE | MONDADORI

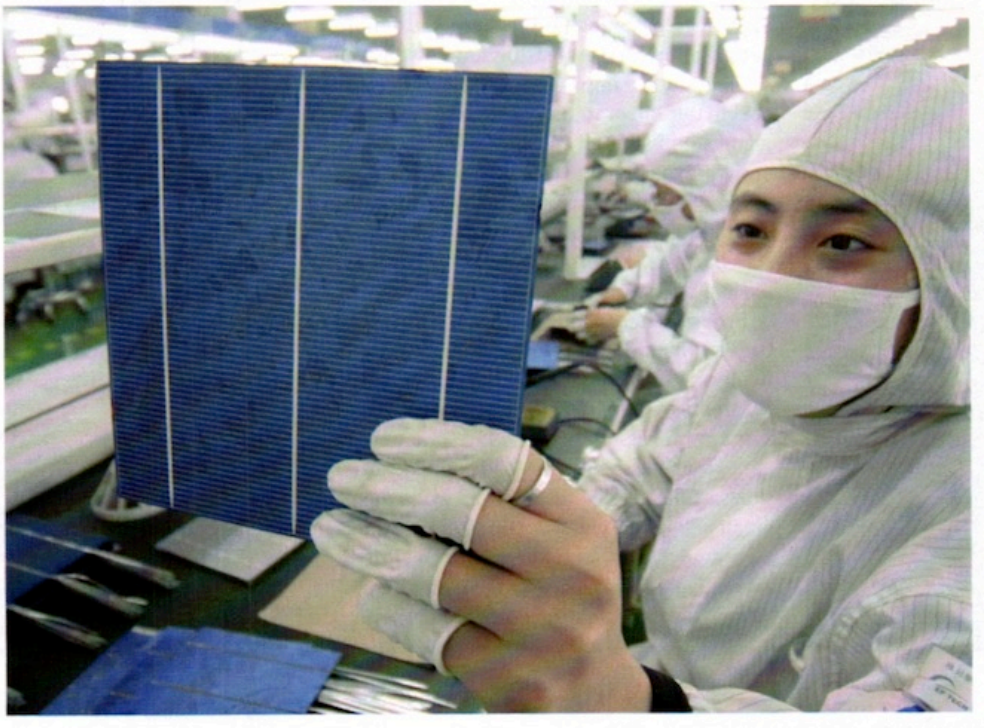
Grandi nel breve.

Ci sono cose fatte per essere notate.
E altre no.
TENA
Lady
Silky
Ultra
Mini
28
assorbenti specifici
per perdite urinarie
TENA *Lady*. Da oggi ancora più delicati sulla pelle,
grazie al nuovo rivestimento morbido come seta.
TENA. Una protezione che non si fa notare.
E' un dispositivo medico CE. Leggere attentamente le avvertenze o le istruzioni per l'uso. Autorizzazione del 18.08.2011

POLITICHE DELLA RICERCA

L'Asia è sempre più vicina

I paesi asiatici sono ormai protagonisti della ricerca globale, con la Cina in primo piano



Settore di punta. Cella fotovoltaica prodotta da un'azienda di Nantong, nella Cina orientale. Le tecnologie verdi sono uno dei settori di punta dello sviluppo tecnologico cinese.

Imagineechina/Corbis

Viviamo in un mondo in cui Cina e altri paesi emergenti sono ormai leader nella scienza e nella tecnologia. Il rapporto biennale della statunitense National Science Foundation (NSF), *Science & Engineering Indicators 2012*, confronta Stati Uniti, Europa, Asia e resto del mondo per quel che riguarda i principali andamenti globali relativi agli indicatori delle prestazioni scientifiche e tecnologiche, agli investimenti e all'educazione. E conferma che lo stato della scienza globale è ben diverso da quello di pochi decenni fa.

L'Asia non è più una sorpresa: la potenza scientifica cinese continua a crescere, trainando l'intero continente, e supera il Giappone ormai nella maggioranza degli indicatori: investimenti, articoli pubblicati, brevetti e citazioni. L'Asia emerge come nuova regione della scienza: aumentano le collaborazioni tra paesi, segnalate dal fatto che nei loro studi i ricercatori asiatici citano sempre di più colleghi dello stesso continente, e sempre di meno quelli statunitensi. Nel numero totale di articoli scientifici l'Unione Europea resta la regione leader, con circa 250.000 pubblicazioni all'anno, seguita dagli Stati Uniti che superano di poco i 200.000.

Anche in questo indicatore però l'Asia sta crescendo, ed entro pochi anni gli Stati Uniti si troveranno in terza posizione. Del resto nel 2009 l'Asia ha speso in ricerca e sviluppo quanto gli Stati uniti, circa 400 miliardi di dollari all'anno. L'Europa arriva a 300 miliardi. Le cose cambiano quando si passa alla percentuale di prodotto interno lodo investito in ricerca: Giappone e Stati Uniti restano in testa, con circa il 3 per cento, mentre l'Unione Europea segue con il 2 per cento, tallonata dalla Cina. Tuttavia, mentre dall'inizio della crisi Unione Europea e Stati Uniti hanno mantenuto stabili, o ridotto, gli investimenti in ricerca, la Cina continua ad aumentarli del 25 per cento circa ogni anno, in compagnia di altri paesi asiatici. Fa eccezione l'India, la cui crescita economica non è stata seguita da una crescita parallela negli indicatori scientifici e tecnologici. Tra i paesi emergenti si segnalano Brasile e Sudafrica, che tuttavia partono da livelli molto bassi e quindi faticano a tenere il passo delle aree più avanzate.

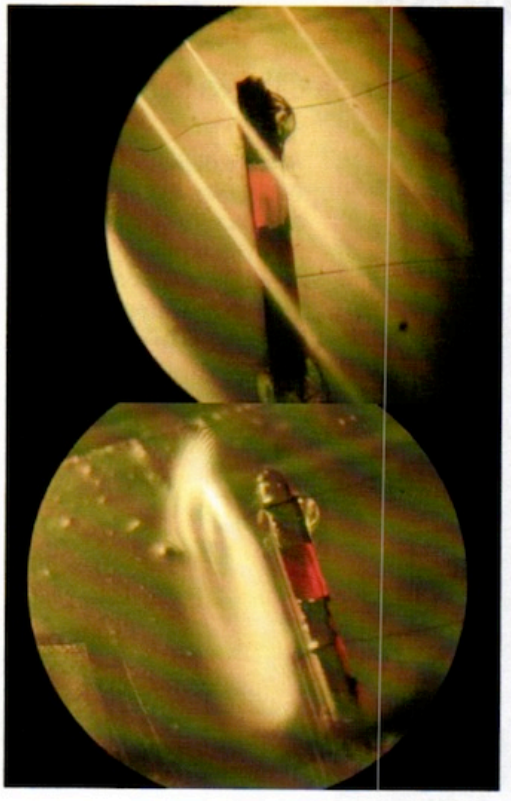
Nel solo comparto delle tecnologie «verdi», la Cina è ormai responsabile del 35 per cento delle spese globali, con l'Europa a seguire con poco più del 20 per cento. Anche sul fronte dell'educazione, la Cina ha superato gli Stati Uniti nel numero di persone che completano un dottorato in materie scientifiche e tecnologiche: oltre 25.000 all'anno, quasi il quadruplo di dieci anni prima. La NSF sottolinea che molti andamenti sono legati alla crisi economica cominciata nel 2008, che sta ancora influenzando le economie di Stati Uniti, Europa e Giappone mentre non ha quasi sfiorato i paesi emergenti. Scienza e tecnologia non sono più appannaggio di poche aree del mondo.

Alessandro Delfanti

SCIENZA DEI MATERIALI

Transistor organici sottovuoto

I sacchetti sottovuoto per alimenti hanno ispirato una tecnica per transistor



Spesso è dall'osservazione di ciò che ci circonda che nascono le idee più innovative: Vitaly Podzorov, fisico della Rutgers University, nel New Jersey ha messo a punto un'ingegnosa tecnica per la fabbricazione di transistor organici ispirandosi ai sacchetti sottovuoto per gli alimenti. I transistor sono dispositivi semiconduttori impiegati nella fabbricazione dei circuiti integrati; in genere sono realizzati con sottili strati di silicio e hanno un'elevata rigidezza e fragilità. Quelli di tipo organico, invece, vedono l'impiego come semiconduttori di molecole organiche, il che permette di stamparli su supporti flessibili e versatili come la plastica.

Proprio grazie a queste caratteristiche, gli Organic Field Effect Transistor (OFET, *nella foto*) sono una promessa per lo sviluppo delle tecnologie fotovoltaiche e ottiche, anche se a oggi i processi di lavorazione sono ancora molto complessi e costosi. L'idea di Podzorov si basa sulla creazione del vuoto tra la membrana polimerica che si applica sulla membrana organica, così da rendere le operazioni di assemblaggio più precise e esenti da difetti. Il metodo è descritto su «Advanced Materials».

Marina Semiglia

La personalità magnetica del grafene

Sottilissimo, resistente e da oggi anche magnetico. È questa la nuova importante proprietà del grafene messa in evidenza da uno studio pubblicato su «Nature Physics». Un gruppo di ricercatori guidato da Irina Grigorieva dell'Università di Manchester ha reso magnetico un sottile foglio di grafene grazie a un opportuno drogaggio. Alla ricerca ha preso parte anche Andre Geim, premio Nobel per la fisica nel 2010 proprio per i suoi studi su questo sorprendente materiale. Questa importante scoperta porterà presto a molte applicazioni e potrebbe essere cruciale per il futuro impiego del grafene nel campo dell'elettronica.

Il grafene è spesso definito «il materiale delle meraviglie» grazie alle sue straordinarie proprietà fisiche. Formato da un singolo strato di atomi di carbonio disposti in una struttura a nido d'ape, il grafene è estremamente flessibile, resistente e ha un'alta conducibilità termica ed elettrica. La sua grande densità e trasparenza ottica contribuiscono poi ad aumentare le possibili applicazioni di questo materiale, che spaziano dai nanocomposti polimerici ai transistor ad alte prestazioni. Nel suo stato originale il grafene non mostra proprietà magnetiche, e tutti gli studi precedenti a riguardo avevano sempre dato risultati scoraggianti. Ma il gruppo di Manchester è riuscito a svelare il lato magnetico del grafene sfruttando due tecniche di drogaggio. Innanzitutto i ricercatori hanno sostituito alcuni atomi di carbonio con atomi di fluoro, e successivamente hanno irradiato i fogli di grafene con fasci di ioni, in modo da rimuovere altri atomi di carbonio e creare lacune nel reticolo.

L'introduzione di difetti reticolari ha permesso di indurre un comportamento paramagnetico, ovvero la capacità di magnetizzarsi in presenza di un campo magnetico esterno. Una magnetizzazione comunque molto debole, che scompare con un drogaggio maggiore. Basta più di un difetto ogni 1000 atomi per distruggere la magnetizzazione, perché i difetti sono così vicini da cancellare i loro effetti. Ma questa proprietà potrebbe presto condurre ad altre importanti applicazioni, fra cui la spintronica. Da oggi il grafene ha una meraviglia in più.

Massimiliano Razzano

Laser a raggi X, due prime assolute

I laser sono alla base di molti dispositivi di largo uso, ma c'è ancora molto da scoprire, come dimostrano due lavori su «Nature». Nina Rohringer del Lawrence Livermore National Laboratory ha creato il primo laser atomico a raggi X, sfruttando il fascio prodotto al Linac Coherent Light Source del laboratorio SLAC della Stanford University. La scoperta apre la strada a laser atomici a raggi X grazie a cui indagare il mondo microscopico con altissima precisione. Per realizzare il laser atomico, Rohringer ha pompato energia

in una piccola nube di neon, sfruttando i raggi X di LCLS. A differenza di LCLS, laser a elettroni liberi dove i fasci sono prodotti da elettroni accelerati ad alta energia, il laser atomico nasce dalla diseccitazione degli atomi e garantisce un fascio più stabile e coerente.

Ma LCLS ha visto anche un'altra prima assoluta nei laser a raggi X. Con lo strumento, Sam Vinko dell'Università di Oxford ha portato per la prima volta un foglio di alluminio a due milioni di gradi Celsius in condizioni controllate (*nella foto*), risultato che servirà ad indagare le proprietà della materia ad altissime temperature e migliorare la nostra comprensione dei processi di fusione nucleare.

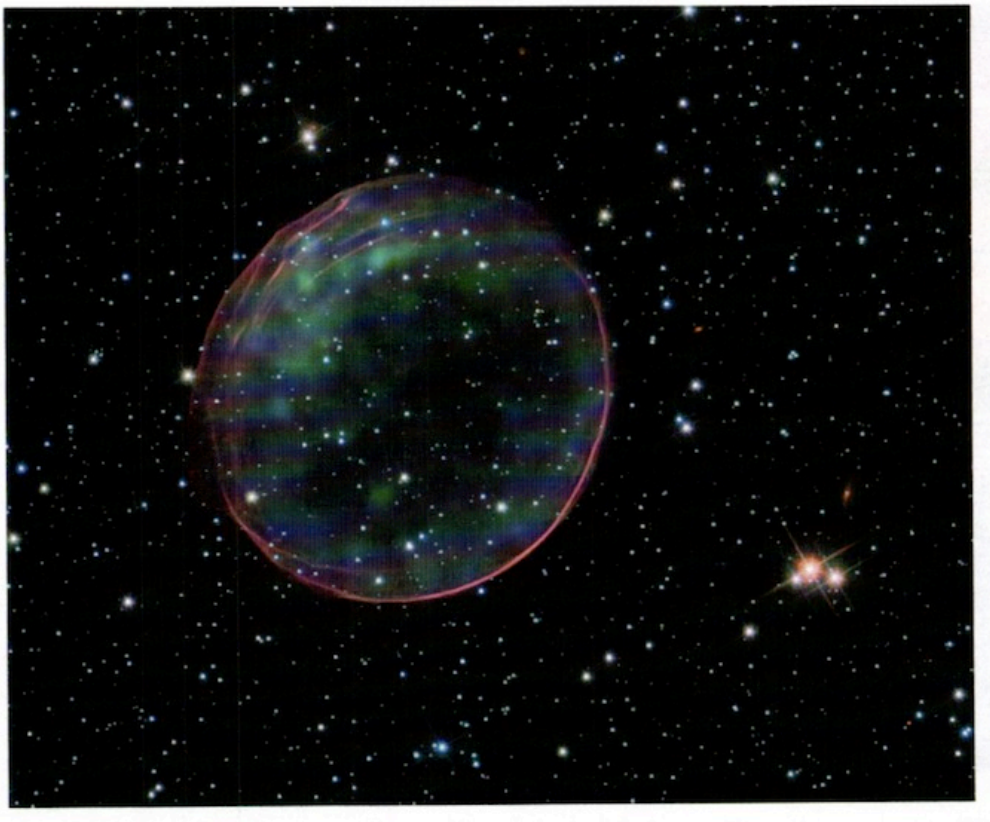
Massimiliano Razzano

Cortesia Rutgers University (*transistor organici*); cortesia Sam Vinko, Università di Oxford (*laser*)

ASTROFISICA

Il parto della supernova

Grazie al telescopio Hubble risolto il problema delle stelle progenitrici delle supernove di tipo Ia



NASA, ESA, CXC, SAO, Hubble Heritage Team (STScI/AURA), e J. Hughes/Rutgers University

Grazie allo studio del resto di una supernova di tipo Ia esplosa circa 400 anni fa nella Grande Nube di Magellano, due astronomi statunitensi sono riusciti a determinare il tipo di stella progenitrice della supernova. Secondo Bradley E. Schaefer e Ashley Pagnotta, entrambi della Louisiana State University a Baton Rouge, l'esplosione che ha dato origine al resto di supernova SNR 0509-67.5 (*nella foto*) è stata prodotta da un sistema binario costituito da due nane bianche. In particolare l'esplosione si sarebbe verificata al momento della collisione fra le due stelle compatte.

Per arrivare a questa conclusione, descritta in una ricerca pubblicata su «Nature», Schaefer e Pagnotta hanno analizzato le immagini del resto di supernova registrate dal telescopio spaziale Hubble in cerca dell'eventuale stella compagna della nana bianca esplosa come supernova.

Il modello più accreditato sulle supernove di tipo Ia è infatti quello che descrive un sistema binario in cui una nana bianca accresce materia da una stella compagna fino a superare il limite di Chandrasekhar, pari a 1,44 masse solari, soglia oltre la quale la pressione del gas degenere di elettroni non riesce a impedire il collasso gravitazionale della nana bianca.

Tuttavia, nelle regioni centrali del resto di supernova gli astronomi non hanno evidenziato la presenza di alcuna possibile stella ex compagna della nana bianca, arrivando sino al limite inferiore di magnitudine rilevabile da Hubble. Da cui hanno dedotto che a causare l'esplosione della supernova non è stata una singola nana bianca che accresceva materia da una compagna (modello del singolo progenitore degenere), ma due nane bianche in collisione (modello del doppio progenitore degenere).

L'osservazione si rivela particolarmente significativa perché le supernove di tipo Ia sono utilizzate come candele standard per la determinazione delle distanze extragalattiche (l'osservazione di supernove di tipo Ia in galassie lontane è lo strumento chiave per studiare l'espansione accelerata dell'universo). L'unico altro tentativo di questo genere è stato fatto sul resto della supernova di Tycho, esplosa nel 1572, anch'essa di tipo Ia, ma l'individuazione del progenitore è ancora controversa.

Emiliano Ricci

Mappa della materia oscura mai vista prima

La mappa della distribuzione di materia oscura alla più grande scala mai osservata: questo è il risultato ottenuto da un gruppo di astronomi guidato da Ludovic Van Waerbeke, dell'Università della British Columbia a Vancouver, e da Catherine Heymans, dell'Università di Edimburgo. Il risultato è stato presentato al *meeting* annuale dell'American Astronomical Society, svoltosi ad Austin, in Texas.

I ricercatori hanno analizzato le immagini di quattro differenti regioni di cielo in cerca di distorsioni della luce emessa da circa 10 milioni di galassie, poste a una distanza media di circa 6 miliardi di anni luce. Le eventuali distorsioni sono infatti dovute al passaggio della luce attraverso addensamenti di materia oscura che si trovano nel percorso fra le galassie e il nostro pianeta.

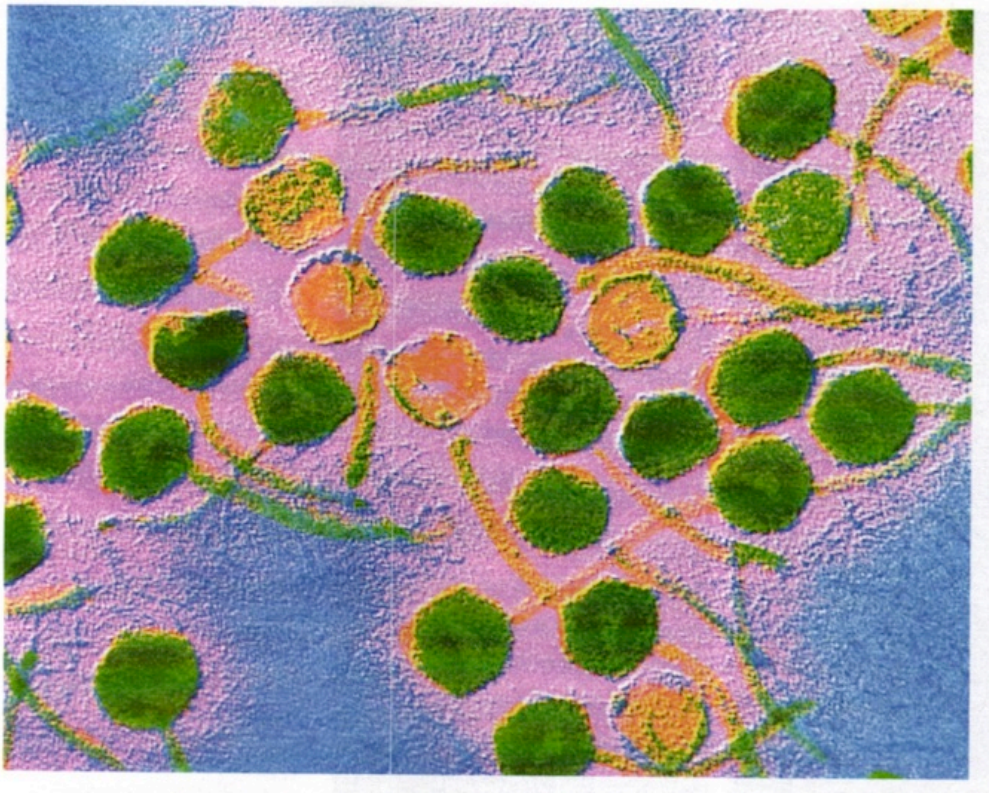
Ottenuta nell'ambito del progetto Canada-France-Hawaii Telescope Lensing Survey (CFHTLenS), la mappa mostra una fitta ragnatela di filamenti, collegati fra loro in nodi caratterizzati da forti addensamenti di materia oscura (in corrispondenza degli ammassi di galassie). A questi si alternano vaste regioni dell'universo praticamente prive di materia oscura. È la prima volta che questa struttura, già evidenziata attraverso modelli e simulazioni al calcolatore, viene osservata direttamente.

Emiliano Ricci

EVOLUZIONE

Innovazione in tempo reale

Analizzata in virus che attaccano batteri l'evoluzione di nuovi meccanismi per infettare gli ospiti



CNRI/SPL (*fagi lambda*)

Due settimane e quattro mutazioni: tanto è bastato ad alcuni fagi lambda, virus che attaccano batteri (*verdi nella foto*) per evolvere un nuovo meccanismo d'infezione di *Escherichia coli*. L'osservazione è di quelle importanti, perché getta luce su uno dei processi evolutivi meno noti: non il miglioramento di una caratteristica esistente, ma lo sviluppo di un tratto del tutto nuovo.

Per dare il via all'infezione, il virus lambda deve legarsi a una proteina sulla superficie di *E. coli* chiamata LamB. Justin Meyer e colleghi, della Michigan State University, si sono chiesti che cosa succede se qualche mutazione del batterio riduce le LamB a disposizione. Risultato: la scomparsa di buona parte dei virus, salvo alcuni particolarmente abili a legare LamB. Tra questi, però, alcuni a un certo punto hanno cominciato a infettare il batterio passando per un'altra proteina, OmpF: un tratto tutto nuovo. Ripetendo l'esperimento 96 volte, i ricercatori hanno ottenuto 24 ceppi virali capaci di legare OmpF: tutti avevano in comune quattro mutazioni. Perché il virus sviluppi la nuova modalità infettiva ci vogliono tutte, ma non è necessario che vengano acquisite contemporaneamente.

Anche l'ospite, però, spiegano gli autori su «Science», ha un ruolo in questo processo evolutivo. Dopo il primo contatto, il virus deve introdurre il suo DNA nel batterio: se non ci riesce, l'infezione fallisce. I ricercatori hanno osservato che i batteri resistenti all'infezione via OmpF avevano mutazioni che bloccano il trasferimento del DNA virale. Ai lambda che entrano in contatto con questi batteri non serve saper legare OmpF, perché comunque non potranno concludere l'infezione. È quello che si chiama contingenza: gli organismi prendono strade evolutive differenti a seconda del contesto e delle interazioni con altri organismi. Insomma, l'insieme di questi dati chiarisce che in fondo il cocktail per l'evoluzione di tratti innovativi contiene ingredienti già noti: mutazioni genetiche, selezione naturale e contingenza.

E c'è anche un aspetto d'attualità: nei mesi scorsi si è parlato a lungo della creazione in laboratorio di un ceppo assai virulento del virus dell'influenza aviaria H5N1, ottenuto grazie a cinque mutazioni indotte artificialmente. Molti ritengono davvero bassa la probabilità che queste si verifichino da sole in natura, ma i lambda di Meyer mostrano che non è detto che sia così.

Valentina Murelli

I polpi editano l'RNA

L'adattamento a un nuovo ambiente non richiede per forza una mutazione genica: un polpo antartico ha adattato una sua proteina al gelo cambiando il modo in cui viene modificato l'RNA messaggero, partendo dallo stesso gene.

Nella membrana dei neuroni, dopo il passaggio dell'impulso nervoso, i canali del potassio si chiudono per ricreare l'equilibrio elettrico. Il freddo però rallenta la chiusura e dunque la prontezza con cui il neurone può riattivarsi. Joshua Rosenthal, dell'Università di Puerto Rico, si aspettava quindi di trovare nei polpi antartici mutazioni del gene per il canale, che ne velocizzassero l'azione al freddo.

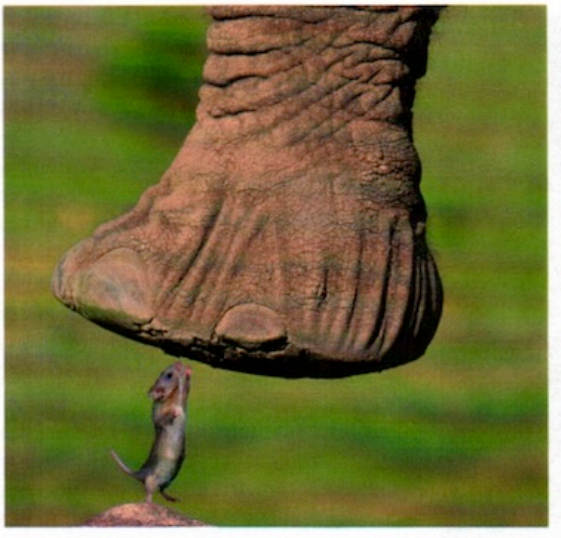
Ha invece osservato che il gene è molto simile a quello di un polpo tropicale. E infatti i canali prodotti dai due geni in laboratorio, in ovociti di rana, funzionano allo stesso modo. Ma il canale che si trova nei neuroni del polpo antartico è diverso: le nove differenze sono introdotte durante la maturazione che l'RNA messaggero subisce prima di essere letto per fabbricare la proteina, e una riguarda un amminoacido essenziale per l'adattamento al freddo. Il fenomeno, spiega Rosenthal su «Science», è stato poi osservato in altre specie di varie latitudini. La maturazione dell'RNA si mostra quindi per la prima volta un possibile strumento adattativo, e gli studiosi sono ora curiosi di vedere quanto sia diffuso.

Giovanni Sabato

EVOLUZIONE

Quanto ci vuole dal topo all'elefante?

Calcolato il numero di generazioni necessarie per passare dai piccoli mammiferi a quelli enormi



DLILLC/Corbis (*topo ed elefante*); cortesia OHSU (*Hex e Roku*)

Diventare grandi non è un gioco da ragazzi. Ai mammiferi sono servite 24 milioni di generazioni per passare da un animale piccolo come un topo a uno grande quanto un elefante. A misurare la velocità della trasformazione delle dimensioni corporee dei mammiferi è stato un gruppo di ricerca coordinato da Alistair R. Evans, dell'australiana Monash University.

Come descritto sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», gli scienziati hanno usato una banca dati in cui erano registrate le dimensioni di 28 ordini di mammiferi terrestri e acquatici (tra cui roditori, proboscidei e cetacei) vissuti negli ultimi 70 milioni di anni. Hanno poi calcolato la velocità di trasformazione del carattere in generazioni per poter confrontare animali dalla durata della vita media differente.

Dai calcoli è emerso che il passaggio dai grammi di un topo ai quintali di un elefante è avvenuto in 24 milioni di generazioni; quello da un coniglio a un elefante in 10 milioni di generazioni. In acqua, invece, l'evoluzione è andata avanti più spedita: l'aumento delle dimensioni corporee delle balene ha richiesto la metà del tempo necessario ai mammiferi terrestri. Primo, perché la spinta dell'acqua aiuta a sostenere il peso di corpi massicci; secondo, perché negli oceani più si è grandi più è facile regolare la temperatura corporea. In altre parole, in ambiente acquatico l'evoluzione verso corpi grandi ha incontrato meno ostacoli che sulla terra.

Ma a sorprendere i ricercatori è stato scoprire che il passaggio inverso, cioè la riduzione delle dimensioni corporee, è stato oltre dieci volte più veloce. La comparsa delle forme nane di alcune specie, per esempio, ha richiesto solo 100.000 generazioni. La spiegazione potrebbe essere di natura ecologica: essere piccoli significa aver bisogno di meno cibo e potersi riprodurre più velocemente. Condizioni vantaggiose per animali che vivono in ambienti particolari come le isole, dove le risorse scarseggiano. In effetti, i casi di rimpicciolimento più drastici si riscontrano proprio in animali insulari, come gli elefanti nani vissuti su alcune isole del Mediterraneo.

Martina Saporiti

Scimmie con sei genomi

Generate per la prima volta «scimmie chimera» che hanno fino a sei profili genetici differenti. Si chiamano Chimero, Hex e Roku (le ultime due, nella foto, rispettivamente dal nome greco e da quello giapponese del numero sei) e sono state generate come un vero e proprio mosaico genetico.

Ricercatori dall'Oregon National Primate Research Center e della Oregon Health and Science University di Portland, guidati da Shoukhrat Mitalipov, hanno creato blastocisti chimeriche unendo cellule di embrioni differenti (provenienti da diversi ovuli fecondati) e costituiti solo da cellule staminali totipotenti. Queste cellule rappresentano uno stadio molto precoce dello sviluppo embrionale, durante il quale ancora è mantenuto il potenziale di originare anche tessuti extraembrionali (come la placenta). L'embrione risultante è stato impiantato nell'utero di una scimmia madre in cui si è sviluppato generando animali con addirittura sei profili genetici diversi.

Gli scienziati hanno sottolineato che le cellule, sebbene di provenienza diversa, non si sono mai fuse, ma hanno lavorato insieme per sviluppare il tessuto o l'organo a cui appartengono. Nei tentativi precedenti, senza successo, i ricercatori avevano cercato di creare blasticisti chimeriche partendo da cellule staminali a uno stadio più avanzato (le staminali pluripotenti), in grado di generare qualsiasi tipo di tessuto tranne i tessuti extraembrionali. Questo risultato mette in discussione il reale potenziale di originare, nei primati, tessuti biologici funzionanti partendo da linee cellulari coltivate in laboratorio costituite da cellule staminali pluripotenti. Lo studio, pubblicato su «Cell», rappresenta la nuova frontiera degli studi sulle cellule staminali. Le terapie basate sull'uso di staminali sono infatti un'opportunità importante per la medicina e potrebbero essere usate per la terapia di diverse malattie neurodegenerative, come il morbo di Parkinson e il morbo di Alzheimer.

Alla luce dei risultati ottenuti, gli autori della ricerca ritengono che per poter trasferire le terapie basate sulle staminali dal laboratorio alla clinica è necessario studiare le caratteristiche delle cellule staminali sull'uomo, utilizzando anche embrioni umani.

Enrico Properzi

EVOLUZIONE

Variazioni al buio

Un esempio di evoluzione convergente ripetutasi cinque volte

Anziché essere il prodotto di un'unica fase evolutiva, un pesciolino che vive nelle caverne messicane (*Astyanax mexicanus*) è frutto di un singolare esempio di evoluzione convergente, ripetutasi più volte.

La forma carvenicola, priva di occhi e senza pigmento (*nella foto*), è una variante di un'altra, dall'aspetto molto diverso, che vive in superficie nei fiumi, e con la quale può ibridarsi. L'ipotesi più accreditata è che le popolazioni ancestrali fossero due. La prima a un certo punto ha colonizzato le caverne estinguendosi in superficie. In seguito, la seconda popolazione ha colonizzato di nuovo la superficie.

Confrontando le analisi genetiche di undici popolazioni del pesce carvernicolo e dieci di quello superficiale, un team internazionale di scienziati ha osservato che dal punto di vista genetico le popolazioni superficiali erano molto omogenee, mentre quelle ipogee avevano una grande variabilità.

Nell'articolo pubblicato su «BMC Evolutionary Biology» gli autori sostengono che la migrazione dalla superficie e il conseguente adattamento al buio (perdita degli occhi e del pigmento) sono avvenuti almeno cinque volte, in entrambe le popolazioni originarie.

Federica Sgorbissa

Antenati diversi per i cani domestici

Il legame tra esseri umani e cani domestici dura da più di 30.000 anni. A dimostrarlo è l'analisi di un cranio di cane ritrovato in una caverna dei Monti Altai, in Siberia, pubblicata da ricercatori dell'Università dell'Arizona su «PLoS One». La ricerca, oltre a confermare l'antica origine dell'amicizia tra l'essere umano e questi animali, suggerisce che si sia sviluppata indipendentemente in diverse parti del mondo, indicando inoltre che i cani domestici potrebbero non avere un unico antenato comune, contrariamente ai risultati di precedenti studi genetici.

Grazie a una spettrometria di massa con acceleratore, i ricercatori hanno datato il cane siberiano a 33.000 anni fa, poco prima dell'ultima glaciazione, e hanno effettuato analisi morfologiche, confrontandole con quelle di altri fossili di cane domestico ritrovati in precedenza in una grotta in Belgio e risalenti a 36.000 anni fa. Entrambi sono risultati inequivocabilmente cani domestici. Diversamente dai lupi, che hanno un muso allungato e sottile e i denti ben distanziati, i cani domestici presentano infatti un progressivo accorciamento del muso, una mandibola più ampia e i denti molto ravvicinati. Tuttavia, ed ecco il dato interessante, nessuno dei due esemplari sarebbe un antenato dei cani di oggi: infatti, né la discendenza del cane belga né quella del siberiano sarebbero sopravvissute alla glaciazione, il che vorrebbe dire, secondo i ricercatori, che i cani moderni potrebbero avere diversi avi, invece di un unico antenato comune.

La conferma di un'amicizia così antica tra umani e cani è indicativa anche per la storia dell'uomo, spiegano gli scienziati. «Tutti pensano che la domesticazione fosse riservata ad animali in grado di fornire un prodotto utile dal punto di vista alimentare, come le pecore, le capre e le mucche», concludono i ricercatori. «Ma la relazione con i cani è diversa: loro forniscono altro, come protezione, aiuto nella caccia e compagnia. Ed è interessante che questo tipo di relazione sia invece la più antica, la prima a essere apparsa tra esseri umani e animali».

Caterina Visco

Il rischio calcolato delle antropomorfe

Alle scimmie antropomorfe piace rischiare, ma solo se ne vale la pena e solo fino a un certo punto. Ricercatori del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie hanno messo scimpanzè, orangutan, bonobo e gorilla di fronte a una scelta: prendere un pezzo di banana piccolo, ma disponibile, o cercare di accaparrarsene uno più grosso ma nascosto sotto una tra due, tre o quattro tazze uguali. Le scimmie hanno scelto l'opzione più incerta, cioè provare a indovinare il nascondiglio, in più della metà delle prove. Ma, come riporta

Visuals Unlimited/Corbis (*Astianax*); Martin Harvey/Corbis (*bonobo*)

«PLoS One», minore era il rischio di sbagliare più le scimmie erano disposte all'azzardo. Nelle prove in cui potevano guardare lo sperimentatore nascondere la banana o se c'erano solo due tazze tra cui scegliere, le scimmie hanno optato per l'azzardo tra il 90 e il 100 per cento delle volte; lo stesso, se il boccone nascosto era molto più grande dell'altro. Con qualche differenza: scimpanzè e orangutan rischiavano più di bonobo e gorilla. Ed è così anche in natura: se le risorse scarseggiano, scimpanzè e orangutan non si accontentano di ciò che capita, vanno alla ricerca del cibo preferito. Col rischio di rimanere a bocca asciutta.

Martina Saporiti

POLITICHE SOCIALI

Le affirmative action funzionano

Due studi dimostrano che interventi politici come le quote rosa riducono le discriminazioni

Jerry Cooke/Corbis

Gli interventi destinati a favorire l'ingresso di categorie sfavorite in ruoli di alto livello, come le quote rosa, sollevano varie obiezioni: non aiuterebbero l'intera categoria ad affrancarsi, ma solo i pochi che ne beneficiano; escluderebbero candidati più meritevoli, e alimenterebbero l'ostilità tra i gruppi. Ma due studi indipendenti pubblicati su «Science» smentiscono queste obiezioni, almeno per quel che riguarda la parità di genere.

«Un fattore che allontana le donne dalle posizioni più prestigiose è la ritrosia a gettarsi nella competizione, pur a parità di qualifica», spiegano Loukas Balafoutas e Matthias Sutter. Perciò i due economisti dell'Università di Innsbruck hanno saggiato vari interventi per incoraggiarle a competere. In sfide matematiche i 360 partecipanti potevano scegliere se ricevere piccoli premi in base alla prestazione personale, o concorrere in gruppi di sei a premi maggiori riservati ai due vincitori. La classifica delle gare era decisa secondo vari schemi, uno egualitario e quattro che favorivano le donne con punteggi maggiori o prevedendo quote minime di vincitrici.

Mentre in condizioni paritarie le donne che sceglievano la competizione erano metà degli uomini, quasi tutti gli altri schemi riducevano o colmavano il divario. E, fatta la tara dei vantaggi, le prestazioni erano pari tra i due sessi. Gli interventi fanno dunque emergere i più capaci, che altrimenti resterebbero esclusi, non viceversa. Un gioco cooperativo tra i vincitori ha poi mostrato che gli uomini non erano meno disponibili a collaborare nei team. «Certo, sono studi di laboratorio, ma i dati sul campo non li ha nessuno, sono difficilissimi da raccogliere», osservano gli autori.

È invece dal vivo l'indagine che mostra come in India l'introduzione dal 1993 di quote rosa nei consigli di alcuni villaggi ha cambiato modelli e aspirazioni delle adolescenti, e non solo le prescelte. Con un'inchiesta in 500 località, Lori Beaman, della Northwestern University, nell'Illinois, ha visto che dopo due cicli elettorali nei soli villaggi con le quote rosa le ambizioni sociali e politiche delle giovani e dei loro genitori erano molto cresciute, e con conseguenze concrete: meno tempo dedicato ai lavori domestici e risultati scolastici pari a quelli maschili.

Giovanni Sabato

La stabilità cognitiva è scritta nel DNA

Uno studio scozzese sull'intelligenza partito ottanta anni fa ha scoperto che alcune varianti genetiche rappresentano quasi un quarto delle differenze nella stabilità cognitiva – ovvero quanto l'intelligenza si conserva nel tempo. Ian Deary, psicologo dell'Università di Edimburgo, e colleghi, hanno valutato le capacità cognitive di un gruppo di oltre 2000 partecipanti sottoposti a test di intelligenza inizialmente all'età di 11 anni e poi di nuovo a 65, 70 o 79 anni. I ricercatori hanno anche raccolto campioni di DNA dei partecipanti allo studio, analizzando la presenza di oltre mezzo milione di varianti genetiche per verificare la loro possibile associazione con la stabilità cognitiva.

La dimensione del campione è troppo piccola per garantire la significatività statistica sulle singole caratteristiche genetiche associate alla stabilità cognitiva. Essa tuttavia permette di valutare quanto la genetica contribuisce all'invecchiamento cognitivo. I risultati, pubblicati su «Nature», indicano che le varianti genetiche spiegano quasi un quarto delle differenze di stabilità cognitiva.

I fattori genetici potrebbero però anche interagire con fattori ambientali, rendendo una persona più o meno suscettibile agli effetti che generalmente l'ambiente ha sull'intelligenza.

Enrico Properzi

La scimmia e l'utensile giusto

Scimmie evolutivamente distanti da noi 35 milioni di anni riescono a dedurre le proprietà fisiche di un utensile anche solo guardando altri che lo usano. Lo hanno scoperto Gloria Sabbatini ed Elisabetta Visalberghi, dell'Istituto di scienze e tecnologie della cognizione del CNR, in una ricerca condotta presso il Max-Planck-Institut di Lipsia e pubblicata su «Animal Cognition».

Le due ricercatrici hanno messo un pezzo di banana fuori della portata di un cebo dai cornetti, una piccola scimmia sudamericana, lasciandolo scegliere fra due strumenti: un bastone rigido e uno flessibile. Il cebo sceglieva quasi sempre quello rigido, non solo se l'aveva già provato in precedenza, ma anche se l'aveva semplicemente visto usare da un ricercatore. Viceversa, sceglieva lo strumento flessibile se doveva raccogliere yogurt dal fondo di una bottiglia con il collo curvo. La scoperta che i cebi sono in grado di ricavare informazioni sulle proprietà degli strumenti sia direttamente sia indirettamente, come i bambini dai 3 anni in su, è sorprendente.

«La capacità di usare le informazioni derivate dalla manipolazione altrui è una conquista cognitiva non banale e molto vantaggiosa», conclude Visalberghi. (AlSa)

Selezionata la cinquina del premio Galileo 2012

Fisica, biologia, evoluzione, matematica e storia della scienza sono i temi al centro dei cinque volumi selezionati dalla giuria del premio letterario Galileo per la divulgazione scientifica, giunto quest'anno alla sua sesta edizione.

I titoli rimasti in gara dopo una prima tornata di giudizi sono infatti *Odissea nello zeptospazio. Un viaggio nella fisica dell'LHC*, di Gian Francesco Giudice (Springer, 2010), *La vita inaspettata. Il fascino di un'evoluzione che non ci aveva previsto*, di Telmo Pievani (Raffaello Cortina, 2011), *Il biologo furioso*, di Carlo Alberto Redi (Sironi, 2011), *Newton*, di Niccolò Guicciardini (Carocci, 2011) e *Il meraviglioso mondo dei numeri*, di Alex Bellos (Einaudi, 2011).

Scelti con votazione pubblica e a maggioranza da una giuria di esperti presieduta da Piergiorgio Odifreddi (vincitore della scorsa edizione del premio), ora i cinque volumi dovranno superare l'esame di un altro genere di giudici: gli studenti del quarto anno di 111 istituti superiori di altrettante province italiane, affiancati quest'anno da quelli della Scuola militare Teulié di Milano.

Il vincitore del premio Galileo 2012 sarà proclamato il 3 maggio in una cerimonia pubblica a Padova alla presenza di delegazioni delle classi che hanno partecipato al voto. Premiate anch'esse, in cambio del lavoro svolto, con una piccola biblioteca a carattere scientifico.

L'ormone della ginnastica

Mary Ann McDonald/Corbis (cebi); Images.com/Corbis (*menopausa*); Romilly Lockyer/cultura/Corbis (*ginnasta*)

Si potrebbe chiamarlo «ormone della ginnastica», scoperto da un team internazionale che include Maria Cristina Zingaretti e Saverio Cinti, dell'Università Politecnica delle Marche ad Ancona. È l'irisina, un nuovo ormone proteico responsabile di molti dei benefici dell'attività fisica.

Molti cambiamenti indotti nei muscoli dall'esercizio fisico dipendono dall'aumentata espressione di un fattore di trascrizione. Il team dimostra su «Nature» che questo fattore, a sua volta, accresce la secrezione dell'irisina: nel sangue umano i livelli dell'ormone raddoppiano dopo 10 settimane di esercizio. L'irisina ha vari effetti sul metabolismo energetico: rende il grasso bianco più simile al bruno, aumentando il consumo energetico a parità di introito calorico e di movimento, e accresce la sensibilità all'insulina.

Nei topi obesi un supplemento d'irisina riduce il peso e migliora l'omeostasi del glucosio, dimostrando importanti potenzialità contro i danni di diabete e obesità. Potenzialità, come è ovvio, tutte da verificare nell'uomo. (GiSa)

Un collegamento fra sistema immunitario e menopausa

Il sistema immunitario potrebbe avere un ruolo nel determinare l'età di insorgenza della menopausa. Lo conferma una meta analisi di 22 studi condotti con una metodologia di indagine genetica chiamata di associazione genoma-wide, apparsa su «Nature Genetics» a gennaio. La ricerca è stata condotta da John Perry, dell'Università di Oxford, e colleghi, e ha incluso i dati genetici di più di 50.000 donne.

Che esistesse un'associazione fra il sistema immunitario e l'ovulazione lo si sospettava già: infatti le donne che hanno un'insufficienza ovarica primaria e di solito soffrono di menopausa precoce sono affette da una malattia autoimmune delle ovarie. Ora lo studio di Perry porta dati a sostegno di questo collegamento.

Nello studio i ricercatori hanno individuato tredici regioni nel DNA che possono essere in diversi modi legate alla modulazione temporale della menopausa: tre di queste sono associate al sistema immunitario, altre alla riparazione dei geni, alla regolazione dei livelli ormonali e alla risposta infiammatoria. Come spiegano gli autori nel loro articolo, non è ancora chiaro se il sistema immunitario controlli direttamente la menopausa o se sia semplicemente un elemento a supporto di altre forze biologiche, per esempio le fluttuazioni ormonali. Serviranno ulteriori studi, spiega Perry, e un test genetico in grado di prevedere la data della menopausa è ancora lontano. (FeSg)

La misura del suono del neutrino

Il neutrino ha una massa, ma di essa si sa solo che si aggira fra 1/100.000 e un milionesimo di quella dell'elettrone. Per misurarla con precisione molto maggiore sta venendo realizzato presso l'Università di Milano Bicocca, grazie a un finanziamento della Fondazione Carialo, un nuovo tipo di rivelatore. «Che si basa – spiega il fisico nucleare Angelo Nucciotti – su circuiti oscillanti superconduttori, tenuti vicino allo zero assoluto, che rivelano l'avvenuta interazione con una particella, grazie a minuscole variazioni nelle loro frequenze di risonanza nelle microonde. Un po' come la deformazione di una canna d'organo modifica il suono che produce».

Il nuovo rivelatore sfrutta componenti già in uso per le telecomunicazioni, che lo rendono più facile ed economico da realizzare. «Per misurare la massa del neutrino useremo il decadimento beta, in cui un nucleo emette un elettrone e un neutrino, perdendo una quantità nota di massa. Misurando con estrema precisione, grazie al nostro sensore, l'energia cinetica dell'elettrone emesso, dedurremo la massa del neutrino. Usando il più raro decadimento doppio beta, con emissione di due elettroni e due fra neutrini e antineutrini, potremo forse persino determinare se neutrino e antineutrino siano la stessa particella, come pensava Ettore Majorana, o due diverse, come prevede il modello standard». (AlSa)

Spot televisivi e obesità

L'epidemia di obesità costa cara ai sistemi sanitari, e vari governi stanno cercando soluzioni: dall'educazione alimentare all'aumento di tasse sui cibi ipercalorici. Fra le proposte, c'è anche quella di limitare o bandire la pubblicità tv del cibo spazzatura, ma le industrie alimentari dicono che non servirebbe a nulla.

In realtà, ha scoperto l'economista Kathy Baylis, dell'Università della British Columbia, questa misura ha un precedente che si dimostrò molto efficace. Fra il 1988 e il 1992 la provincia canadese francofona del Québec impedì la messa in onda di spot di prodotti considerati *junk food*. I risultati furono ottimi; in media nel periodo si registrò un calo del 13 per cento nel consumo di quegli alimenti, pari a 11 milioni di porzioni e 3 miliardi di calorie evitate. Ma la cosa interessante, fa rilevare la Baylis sul «Journal of Marketing Research», è che la misura funzionò solo per i canadesi francofoni, non per quelli anglofoni che vedevano le pubblicità sulle tv americane e del resto del Canada: una prova della sua efficacia. (AlSa)

Simulare il futuro della criminalità

È possibile prevedere l'evoluzione del crimine? Sì, secondo gli scienziati che si occupano di criminalità all'interno del mega progetto europeo FuturICT. L'idea è simulare al computer il comportamento della società per capire in tempo reale come si modificano le dinamiche criminali. Rosaria Conte, responsabile del Laboratorio di simulazione sociale dell'ISTC-CNR di Roma e referente nazionale per il progetto, spiega così la logica del lavoro: «L'osservatorio sulle epidemie di Harvard è riuscito a prevedere con settimane

di anticipo l'andamento di suina e aviaria. Proiezioni poi confermate dai fatti». Certo, le differenze tra influenza e camorra sono molte, ma «fatte le opportune modifiche ai modelli, sono molti anche gli aspetti comuni: per esempio, i comportamenti si diffondono per contatto sociale, come un virus». L'ostacolo sarebbe l'accesso ai dati, poiché si tratta di informazioni sensibili. «Il progetto è visionario – prosegue la ricercatrice – ma ha solidi ancoraggi alla realtà» (si veda l'articolo *La macchina che dovrebbe prevedere il futuro*, in «Le Scienze» n. 521, gennaio 2012). E all'Europa i progetti visionari piacciono: se FuturICT passerà la seconda selezione sarà finanziato per 1 miliardo di euro. (RaSa)

Pesci a rischio con troppa CO_2

Che troppa CO_2 nell'acqua non faccia bene a certi organismi marini è noto: ne risentono per esempio coralli e molluschi che, in caso di acidificazione e riscaldamento eccessivi, faticano a costruire i loro scheletri calcarei. Anche per i pesci, però, l'eccesso di anidride carbonica può essere un problema. Da tempo un gruppo internazionale di ricerca guidato da Philip Munday, della James Cook University, in Australia, cerca di capire quali sarebbero le conseguenze per i pesci di livelli di CO_2 pari a quelli previsti per la fine del secolo, e le notizie non sono buone. In quelle condizioni, le larve dei pesci che popolano le barriere coralline tendono a manifestare alterazioni comportamentali e sensoriali: perdono la capacità di orientarsi e muoversi all'interno del banco, oppure quella di percepire odori e rumori (compresi quelli emessi da eventuali predatori). In un articolo pubblicato su «Nature Climate Change», Munday e colleghi, tra cui l'italiano Paolo Domenici, chiariscono il perché di queste alterazioni: oltre una certa soglia l'anidride carbonica danneggia il sistema nervoso dei pesci, interferendo con l'attività del neurotrasmettitore GABA. In particolare, la CO^2 stimola uno dei recettori del GABA, mandando in tilt i neuroni. Poiché questo recettore è molto diffuso, sono potenzialmente a rischio tantissime specie marine. (VaMu)

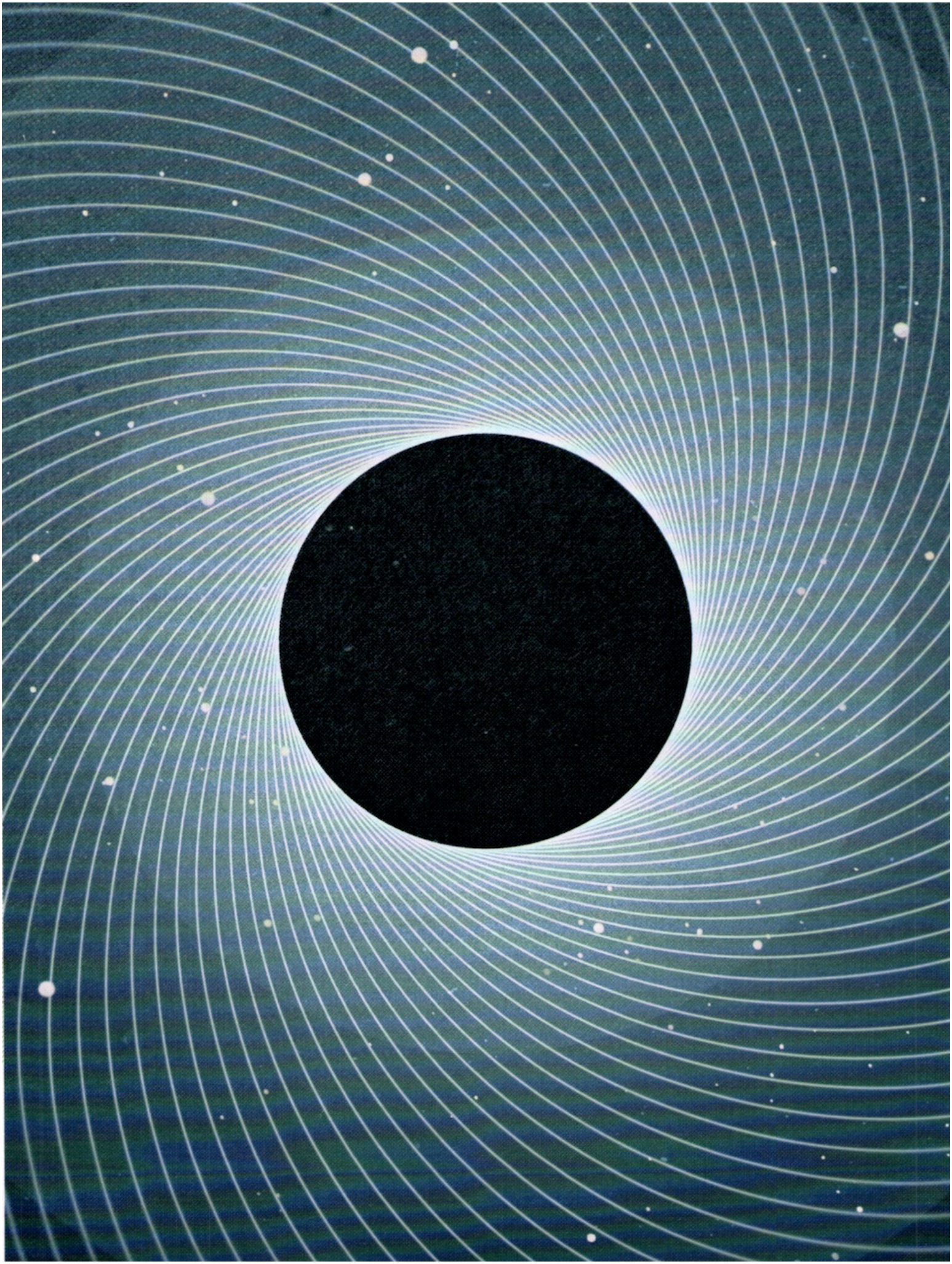
Kate Kunz/Corbis (*televisione*); David Doubilet/National Geographic Society/Corbis (*pesci*); Chase Jarvis/Corbis (*rapina*)

COSMOLOGIA

Buchi neri intermedi

Con massa inferiore a un milione di volte quella del Sole, i cosiddetti buchi neri di massa intermedia possono darci indizi sulla formazione dei loro fratelli più grandi e delle galassie

di Jenny E. Greene



Jenny E. Greene ha inaugurato lo studio dei buchi neri di massa più piccola nei centri galattici come parte della sua tesi di Ph.D. alla Harvard University. È *assistant professor* di astronomia alla Princeton University, più in generale studia l'evoluzione della struttura delle galassie. Inoltre insegna algebra ai detenuti delle prigioni del New Jersey.

Ormai da una decina di anni gli astronomi sanno che quasi ogni grande galassia ha al suo centro un immenso buco nero, cioè un oggetto che ha una gravità così forte che neppure la luce può sfuggire. La morte delle stelle può produrre piccoli buchi neri, con masse che vanno da circa tre a 100 volte quella del Sole, ma questi buchi neri di massa stellare sono minuscoli a confronto con i colossi al centro delle galassie, che arrivano a milioni o miliardi di masse solari.

Questi buchi neri supermassicci pongono interrogativi importanti: come mai sono così comuni nelle galassie? Chi è venuto prima: la galassia o il buco? E come si sono formati?

Il mistero è aumentato dal fatto che i buchi neri supermassicci erano già presenti quando l'universo era molto giovane. A giugno 2011, per esempio, gli astronomi hanno annunciato la scoperta del più antico esempio attualmente noto: un buco nero di circa due miliardi di masse solari che esisteva già 13 miliardi di anni fa, appena 770 milioni di anni dopo il big bang. Come hanno fatto i buchi neri a diventare così grandi tanto rapidamente?

Una formazione così rapida lascia perplessi perché, anche se questi oggetti hanno la reputazione di possenti aspirapolvere cosmici, possono anche comportarsi come immensi mantici. Il gas che cade verso un buco nero finisce con il ruotargli attorno in un enorme disco, il disco di accrescimento. Il materiale si riscalda ed emette radiazioni, in modo particolare quando si avvicina al punto di non ritorno al margine interno del disco. La radiazione spinge via altro materiale diretto verso l'interno, limitando la velocità a cui il buco nero potrebbe ingrandirsi per accrescimento. I fisici calcolano che un buco nero che risucchia alla massima velocità la materia che lo circonda raddoppierebbe la propria massa ogni 50 milioni di anni. Questa velocità è troppo bassa perché un germe di buco nero di massa stellare possa crescere in meno di un miliardo di anni fino a diventare un mostro da miliardi di masse solari.

Gli astrofisici hanno proposto due modi generali in cui possono formarsi i germi di buchi neri. Il primo, noto già da molti anni, ipotizza che i primi buchi neri giganteschi fossero effettivamente i resti di stelle. Le prime stelle in assoluto che si sono formate nell'universo avevano probabilmente una massa estremamente elevata rispetto a quelle formatesi più tardi, come il nostro Sole, perché nelle nubi di gas primordiale non c'erano gli elementi che contribuiscono a raffreddare il gas e a formare blocchi più piccoli. Queste grandi stelle si sarebbero consumate presto e avrebbero prodotto buchi neri di massa forse 100 volte quella del Sole. Deve essere poi intervenuto qualche fenomeno che li ha fatti ingrandire più velocemente del normale accrescimento. Una possibilità del genere può verificarsi in un ammasso denso di stelle, in cui le stelle (e i buchi neri) più grandi tenderebbero a finire vicino al centro dell'ammasso. Un buco nero centrale potrebbe crescere rapidamente fino a 10.000 masse solari fagocitando altri buchi neri e infrangendo i normali limiti di crescita. All'ulteriore crescita verso dimensioni supermassicce potrebbe contribuire l'accrescimento ordinario, magari con qualche altro grande buco nero nel menu.

Avendo però capito che fin dai primordi c'erano grandi buchi neri supermassicci, gli astronomi hanno cominciato a chiedersi se i buchi neri di massa stellare potessero diventare supermassicci in un tempo sufficientemente breve, addirittura cominciando l'esistenza con questo tipo di crescita accelerata. Hanno iniziato a cercare modi alternativi per produrre germi di buchi neri, vie che portassero alla generazione di strutture più grandi di quelli che possono formarsi dall'agonia delle stelle.

I ricercatori hanno proposto modelli che portano a germi più grandi eliminando gli intermediari (le stelle). Sarebbe una grande nube di gas a collassare creando un buco nero, più grande di quelli prodotti dalla morte di una stella. Generando germi di buchi neri di massa compresa tra 10.000 e 100.000 volte quella del Sole, questo processo allevia le ristrettezze di tempo per arrivare presto a buchi neri supermassicci. Questo tipo di collasso diretto non avviene nel nostro universo attuale, ma quando l'universo era giovane le condizioni erano diverse.

Purtroppo è difficile verificare quale di questi due scenari abbia avuto luogo, se i germi di buchi neri siano partiti da piccoli, come prodotto di stelle morenti, o al contrario siano partiti da grandi, come prodotto di implosioni di gas. Anche se gli astronomi possono scrutare il passato osservando con i telescopi regioni lontane, ancora non possono sperare di individuare germi di buchi mentre si stanno formando: anche i germi più grandi sarebbero troppo piccoli per essere visti a queste distanze. (Il James Webb Space Telescope li potrebbe rilevare, ma non sarà lanciato prima del 2018, se riuscirà a sopravvivere alle battaglie politiche per finanziarlo.) Per questo io e i miei colleghi abbiamo seguito un'altra strategia: cercare germi residui che per una ragione qualsiasi siano sopravvissuti fino a oggi senza crescere fino a diventare supermassicci.

Se i germi di buchi neri partissero dall'essere stelle, dovremmo trovare molti germi residui sia al centro sia alla periferia delle galassie, perché le stelle primordiali sarebbero morte in ogni parte della galassia. Ci aspetteremmo anche di trovare una distribuzione continua di masse da 100 a 100.000 volte quella del Sole, perché la crescita potrebbe interrompersi per mancanza di alimentazione in qualunque momento del cammino verso lo stadio di stelle supermassicce. Al contrario, se i germi si formano in prevalenza per collasso di gas allora gli avanzi sarebbero rari; il processo di collasso

IN BREVE

I buchi neri con miliardi di volte la massa del Sole esistevano già ai primordi dell'universo. Come hanno fatto questi colossi a crescere così tanto e così in fretta? Quale processo ha formato i «germi» di buchi neri da cui sono cresciuti?

L'agonia delle prime stelle ha fornito numerosi piccoli germi di buco nero che poi si sono uniti oppure sono state enormi nubi di gas primordiale, senza passare per la fase stellare, a collassare formando germi più grandi?

Gli astronomi cercano di risolvere questo problema trovando e analizzando i germi residui: buchi neri di massa intermedia. I primi dati suggeriscono che si siano formati per collasso diretto.

diretto, se mai è avvenuto, si sarebbe verificato meno spesso della normale morte delle stelle. Invece di un'ampia distribuzione di masse osserveremmo che la maggior parte dei germi di buchi neri residui sarebbero più pesanti di 100.000 soli (i modelli teorici indicano che questa è verosimilmente la massa tipica dei germi che si formerebbero per collasso diretto del gas).

Io e altri astronomi abbiamo quindi perlustrato il cielo alla ricerca di un nuovo tipo di buco nero, né di massa stellare né supermassiccio ma da qualche parte nel mezzo: il cosiddetto buco nero di massa intermedia. Il nostro obiettivo è vedere se la loro abbondanza e la distribuzione delle dimensioni siano più coerenti con il modello del collasso stellare o del collasso del gas. All'inizio, sette anni fa, questo studio non sembrava promettente. Conoscevamo un unico buco nero di massa intermedia e lo consideravamo un caso fortunato. Da allora, però, ne abbiamo trovati a centinaia.

Che cosa si può considerare come «massa intermedia»? Con questa espressione mi riferisco a un buco nero con una massa stimata tra 1000 e 2 milioni di soli. Il limite superiore è piuttosto arbitrario, ma esclude i più piccoli buchi neri supermassicci noti, come quello da 4 milioni di masse solari al centro della Via Lattea. In ogni caso il confine è intrinsecamente sfumato. Nella pratica la misurazione della massa di un buco nero è inizialmente molto incerta; per esempio le masse del nostro primo gruppo di buchi neri di massa intermedia sono cresciute di un fattore due pochi anni fa, quando una grandezza usata nei calcoli è stata modificata in base ai nuovi dati. Il confine preciso non è importante fino a quando studiamo l'intera popolazione di buchi neri che va dal limite inferiore dei supermassicci in giù. Quello che abbiamo capito fino a oggi ci ha già fornito un nuovo quadro delle interazioni tra i buchi neri e le galassie in cui vivono.

Pesi medi sfuggenti

I buchi neri possono rivelarsi in modi diversi. Per esempio, stelle che sfrecciano lungo orbite molto curve vicino al centro di una galassia sono un segnale della presenza di un buco nero supermassiccio. Tuttavia i buchi neri di massa intermedia sono troppo esili perché la loro gravità possa tradirne la presenza in questo modo. Ci concentriamo invece sui buchi neri attivi – quelli che stanno divorando materia – perché la materia calda che cade verso di loro emette una quantità immane di luce.

Nel corso di decenni di studi gli astronomi hanno scoperto che i buchi neri attivi si trovano solitamente in galassie grandi di un certo tipo. Le galassie, quelle particolarmente massicce, possono dividersi in classi generali. Alcune, come la nostra, hanno un grande disco in rotazione composto da stelle. Queste galassie a disco, viste di taglio, hanno l'aspetto di un piatto piano. L'altro tipo, le galassie ellittiche, sono essenzialmente palle fatte di stelle. Alcune galassie a disco hanno in realtà al proprio centro una piccola galassia ellittica, detta *bulge* (rigonfiamento). I buchi neri attivi si trovano per lo più nelle grandi galassie ellittiche e nelle galassie a disco con rigonfiamenti in buona salute. Quasi tutti i rigonfiamenti osservati, che siano abbastanza vicini da poter essere analizzati, rivelano un buco nero di milioni o miliardi di masse solari. Inoltre i rigonfiamenti più grandi contengono buchi neri più grandi: la massa del buco nero è di solito circa un millesimo di quella del rigonfiamento. Questo sorprendente collegamento è un mistero, che fa ritenere che galassie e buchi neri supermassicci evolvano insieme in modi che gli astrofisici non hanno ancora compreso. Più prosaicamente, questa correlazione ha suggerito dove cercare i buchi neri di massa intermedia: nelle galassie più piccole. Ma quali?

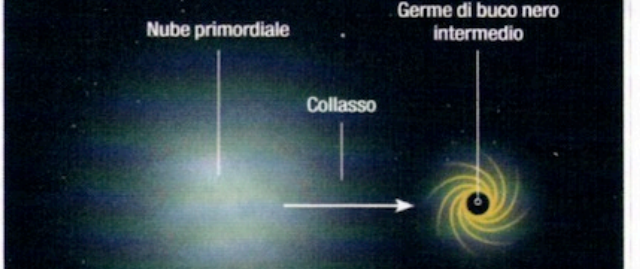
LA DOMANDA FONDAMENTALE

Da che cosa sono nati i buchi neri supermassicci?

L'universo primordiale conteneva già immensi buchi neri con masse maggiori di un miliardo di masse solari. La teoria classica sulla formazione dei buchi neri assume che questi colossi cominciarono come «germi» creati dal collasso di una stella. Ma un buco nero così piccolo non potrebbe crescere tanto rapidamente da diventare supermassiccio così presto (*qui sotto*). Quindi una domanda cruciale è: come possono essersi formati germi più grandi (*al centro e in basso*)?

Una spiegazione è che un grande buco nero di massa stellare in un ammasso di stelle possa crescere rapidamente fino a 10.000 masse solari fagocitando altri buchi. Questo germe di massa intermedia potrebbe poi diventare supermassiccio ingoiando gas.

In alternativa, una nube di gas primordiale può collassare per formare direttamente un germe di buco massa intermedia. Anche questa struttura può poi crescere fagocitando gas.



La ricerca di buchi neri di massa intermedia mira a stabilire quale di questi scenari si sia verificato.

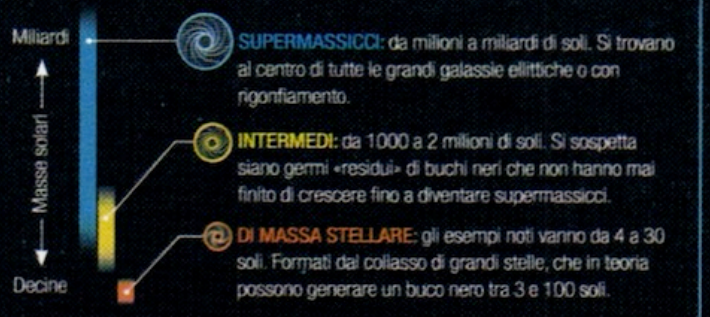
Gavin Potenza (illustrazione pagine precedenti: questa pagina e due pagine successive)

Dove si trovano i diversi tipi di buco nero

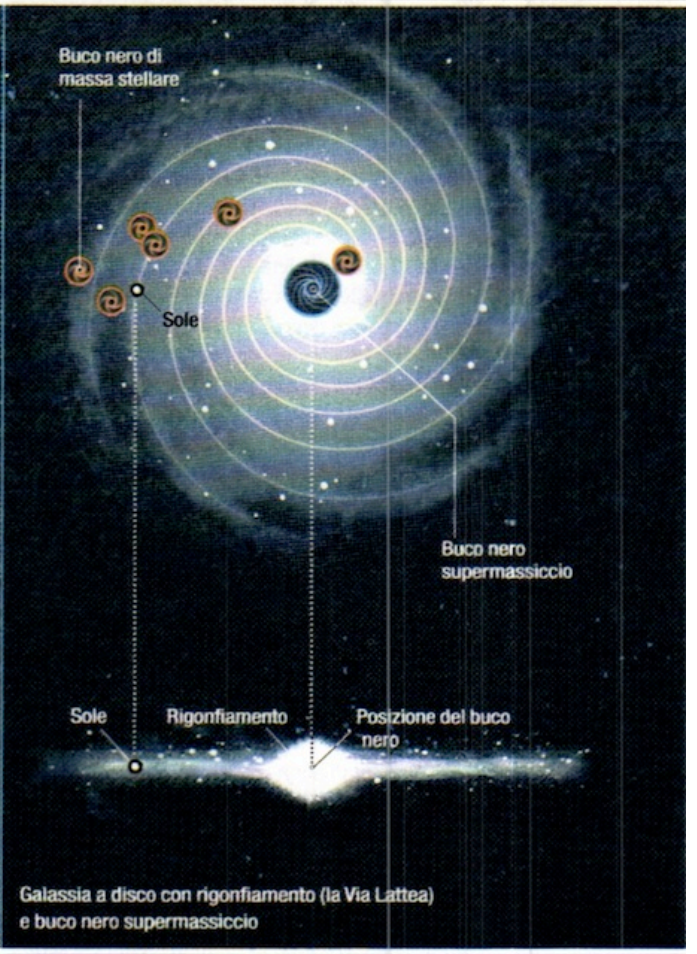
Ci sono molti tipi di galassie, alcuni dei quali contengono abitualmente buchi neri supermassicci. La nostra galassia, la Via Lattea (*a sinistra*) è una galassia a disco, o a spirale, con un rigonfiamento (un insieme grande e denso di stelle), e al centro ha un buco nero supermassiccio di 4 milioni di masse solari (*in blu*). Nella Via Lattea sono stati trovati anche molti buchi neri di massa stellare (*in arancione*).
Sembra che tutte le galassie con rigonfiamento e le grandi galassie ellittiche (*al centro*) ospitino al centro un buco supermassiccio. Invece i buchi neri di massa intermedia (*a destra, in giallo*) sono più comuni in galassie senza un grande rigonfiamento, come quelle a disco. I buchi neri di massa stellare si formano in tutti i tipi di galassie.

Classi di buchi neri

I buchi neri conosciuti ricadono in tre classi in base alla loro massa, che in genere è indicata in termini di masse solari, o «soli».



I buchi neri non sono in scala



Galassia a disco con rigonfiamento (la Via Lattea) e buco nero supermassiccio

Una piccola galassia molto enigmatica ci ha fatto venire un'idea. Nel 1995 il relatore della mia tesi, Luis C. Ho dei Carnegie Observatories, aveva studiato circa 500 delle galassie luminose più vicine per la propria tesi. Ho aveva scoperto che mentre le galassie con grossi rigonfiamenti contengono per la maggior parte buchi neri attivi le galassie prive di rigonfiamento non ne contengono, ma con un'interessante eccezione. NGC 4395 è una galassia a disco con un buco nero attivo e senza rigonfiamento. Il relatore di Ho aveva osservato questa stranezza fin dal 1989, ma la maggior parte dei ricercatori la considerava un'anomalia. Tranne per NGC 4395, lo studio di Ho confermava una regola generale: i buchi neri non si trovano nelle galassie prive di rigonfiamento.

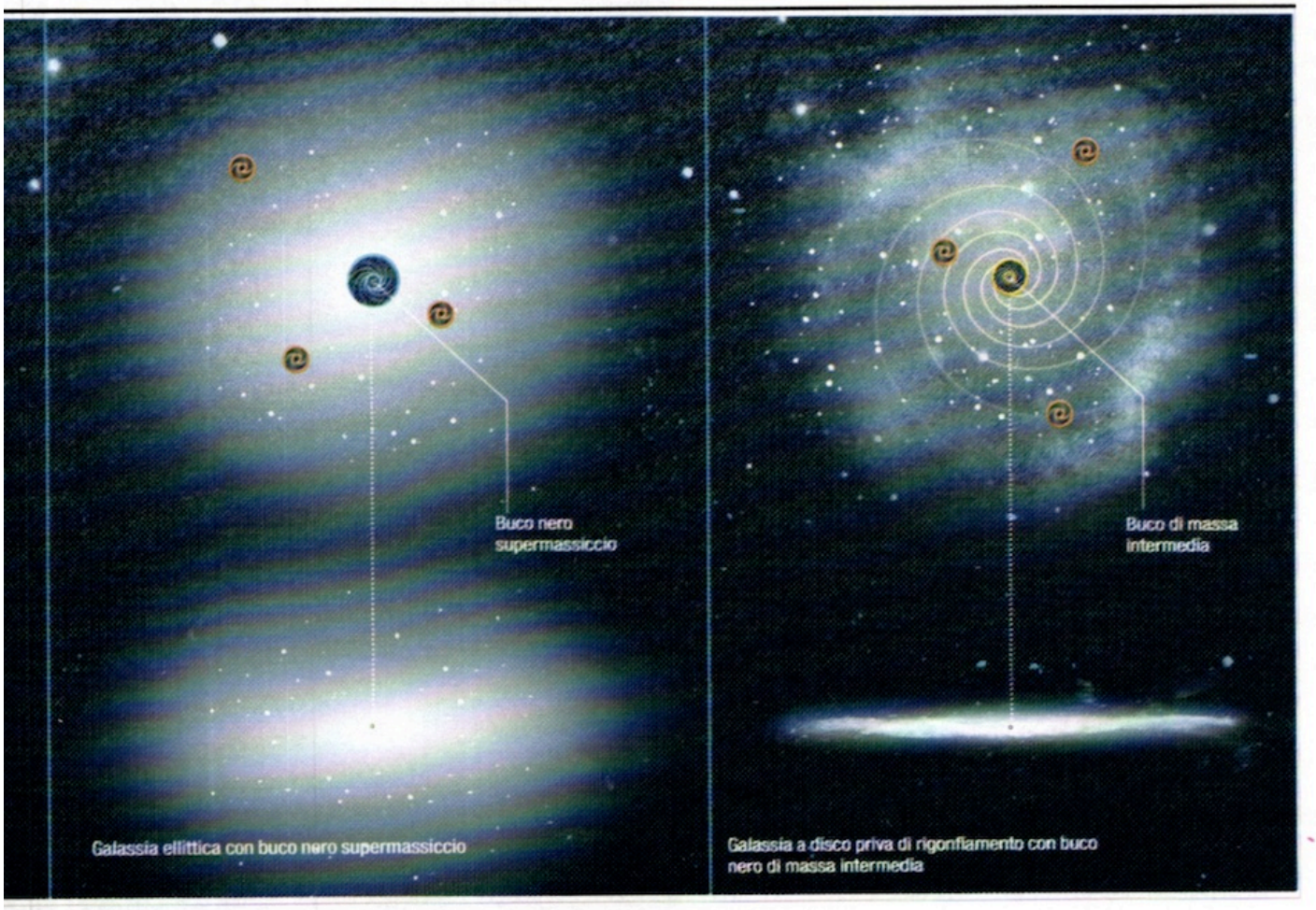
Stimare accuratamente la massa del buco nero di NGC 4395 è arduo. In astronomia, i metodi più diretti richiedono di misurare il moto orbitale. Per esempio, la velocità di un pianeta e il raggio della sua orbita attorno al Sole ci permettono di calcolare la massa del Sole. Analogamente, le orbite delle stelle in una galassia possono rivelare la massa di un buco nero, ma solo se è così grande che gli effetti della sua gravità si possono individuare osservando il moto delle stelle. Il buco in NGC 4395 è troppo piccolo.

Gli astronomi devono quindi basarsi su indizi più indiretti. Per esempio, i raggi X provenienti dai buchi neri attivi cambiano intensità nel corso del tempo, e più grande è il buco nero più lentamente si verificano queste variazioni. Nel 2003, David C. Shih e i suoi colleghi, all'epoca all'Università di Cambridge, hanno scoperto che l'intensità dei raggi X provenienti da NGC 4395 varia tanto rapidamente che il buco nero deve essere relativamente piccolo: presumibilmente tra 10.000 e 100.000 masse solari. Ho è giunto circa allo stesso intervallo di masse per altra via, sempre nel 2003.

Una misurazione appena più diretta della massa è arrivata nel 2005, da Bradley M. Peterson della Ohio State University e collaboratori. Hanno usato il telescopio spaziale Hubble e una tecnica detta mappatura per riverbero, che usa le nubi di gas che orbitano attorno al buco, in modo analogo ai pianeti in orbita attorno al Sole. Misurando i tempi degli echi della luce proveniente dalle nubi, si ricava la dimensione delle orbite. Peterson e colleghi hanno concluso che il buco nero è di circa 360.000 masse solari. Anche con questa tecnica, però, la massa ha un largo margine di incertezza – circa di un fattore tre – per via delle ipotesi preliminari ai calcoli veri e propri.

La galassia senza rigonfiamento NGC 4395 sembra ospitare il tipo di buco nero di massa intermedia che stavamo cercando. Eppure, delle 500 galassie esaminate da Ho era l'unica priva di rigonfiamento con chiari indizi di un buco attivo. La seconda è stata scoperta nel 2002. Aaron J. Barth, allora al California Institute of Technology, aveva usato il telescopio Keck II alle Hawaii per ottenere lo spettro di una galassia insolita ma poco studiata chiamata POX 52. Come NGC 4395, questa galassia aveva mostrato qualche segno di un buco nero attivo nonostante non fosse uno dei soliti sospetti di ospitarne uno supermassiccio (è di un tipo raro detto sferoidale, diverso da quelle a disco rigonfio e da quelle ellittiche).

Barth aveva inviato il nuovo spettro di POX 52 a Ho, che gli



aveva subito chiesto: «Dove hai trovato uno spettro così bello di NGC 4395?». Gli spettri dei due oggetti avevano un aspetto tanto simile che Ho non era in grado di distinguerli. (Sono le caratteristiche dello spettro che indicano la presenza di un buco nero.)

Dato che POX 52 dista 300 milioni di anni luce (20 volte la distanza di NGC 4395), le stime per la sua massa sono assai meno dirette. Tuttavia, vari indizi fanno ritenere che la galassia ospiti un buco nero da circa 100.000 soli. I buchi neri di massa intermedia nelle galassie prive di rigonfiamento erano diventati due.

Ovviamente, per risolvere il problema più difficile di come si siano formati i germi di buchi neri supermassicci, ci servivano ulteriori esempi di quelli di massa intermedia, per rispondere a numerose domande fondamentali: quanto sono comuni i buchi neri intermedi? Ogni galassia priva di rigonfiamento ne contiene uno, oppure la maggior parte di queste galassie ne è priva? Questi buchi compaiono anche altrove? E ci sono esempi ancora non osservati di buchi neri più piccoli di questi primi due? Solo rispondendo avremmo potuto saperne di più su come si formano i germi di un buco nero e su quale ruolo abbiano svolto nell'universo delle origini.

Alla ricerca di buchi neri

Purtroppo le tecniche standard degli astronomi sono poco adatte per la scoperta di buchi neri di massa intermedia attivi. Più un buco nero è grande, più può mangiare, e più è luminoso. I buchi neri più piccoli sono fiochi e quindi più difficili da trovare. Ma non è tutto. Le galassie ellittiche in cui tendono a trovarsi i buchi neri grandi si comportano molto bene. Queste galassie non contengono molto gas e non creano nuove stelle, lasciando una visuale sgombra e limpida del centro della galassia. Al contrario, le galassie a disco (come quelle in cui sospettavamo si trovassero spesso i buchi neri di massa intermedia) formano spesso nuove stelle: la luce stellare neonata e i gas e la polvere collegati possono nascondere il buco attivo.

Per superare questi ostacoli, nel 2004 Ho e io ci siamo rivolti a un impagabile repertorio di dati messo a punto proprio per trovare aghi nel pagliaio cosmico: la Sloan Digital Sky Survey. Dal 2000, il telescopio del New Mexico dedicato a questo progetto ha ripreso immagini in più di un quarto del cielo registrando gli spettri di milioni di stelle e galassie.

Abbiamo analizzato 200.000 spettri di galassie, trovando 19 nuovi candidati simili a NGC 4395, probabili galassie piccole contenenti buchi neri attivi con masse che stimiamo in meno di un milione di quella del Sole. Negli ultimi anni, ricerche simili basate su dati della Sloan Survey più recenti hanno ampliato il totale a una trentina di buchi neri con masse sotto un milione di soli e a più di 100 appena al di sopra della soglia del milione di soli.

Il metodo usato per stimare queste masse è relativamente indiretto. Gli spettri luminosi della Sloan ci dicono la velocità del gas caldo in orbita attorno a un buco nero. Questa è solo metà dell'informazione necessaria per calcolarne direttamente la massa (l'altra metà è il raggio dell'orbita). Gli astronomi conoscono però, dalle osservazioni dei buchi neri attivi compresi tra un milione e un

miliardo di masse solari, la relazione che di solito c'è tra la velocità del gas e la massa del buco nero (più è piccolo, più il gas è lento). Estrapolando a buchi neri di massa inferiore abbiamo trovato le nostre prede tra i dati della Sloan.

Queste ricerche hanno confermato quello che ci aspettavamo sulla base di NGC 4395 e di POX 52: c'è una certa quantità di buchi neri di massa intermedia. È stata confermata anche la congettura secondo cui si trovano di preferenza in galassie prive di rigonfiamento. Questi buchi neri continuano però a sembrare molto rari. Solo 1 galassia su 1000 tra quelle sufficientemente luminose da comparire nella Sloan Survey mostra indizi della presenza di un buco nero attivo di massa intermedia.

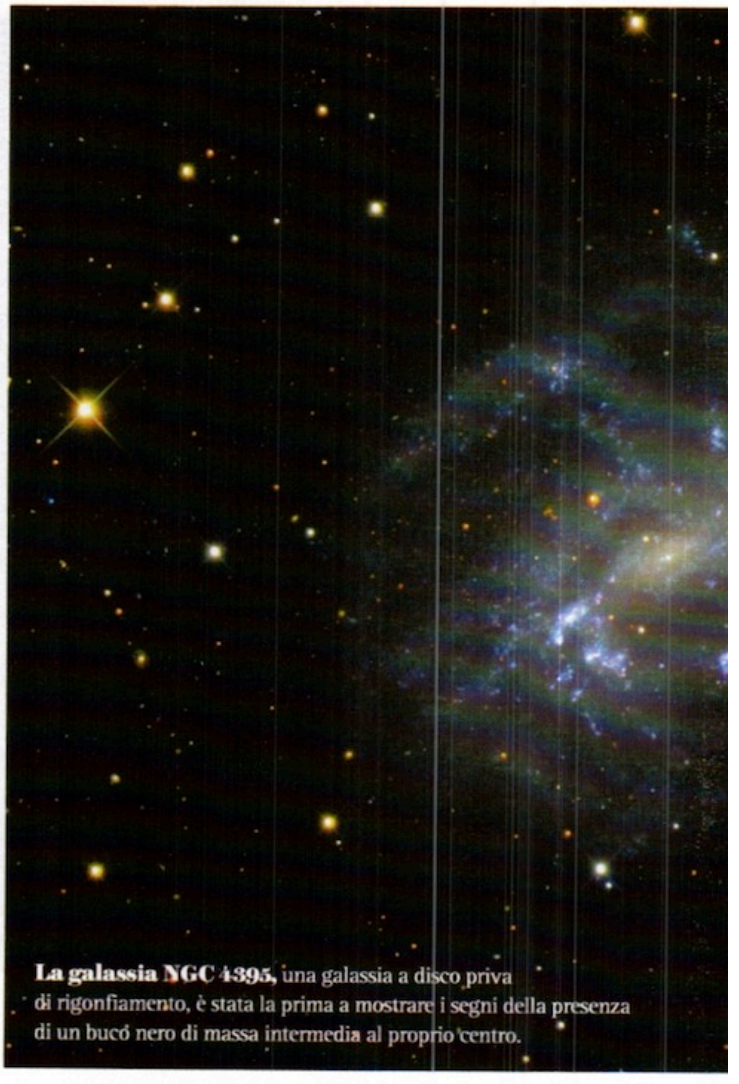
Cercando con i dati della Sloan, però, è possibile che si ignorino molti buchi neri. Ci si basa solo sulla banda ottica (la banda di lunghezze d'onda che è in grado di vedere l'occhio umano), e le nubi di polvere potrebbero nascondere alla vista molti buchi neri. Per superare questo ostacolo, gli astronomi considerano la luce di lunghezze d'onda che possano attraversare la polvere, come raggi X, onde radio e infrarossi intermedi. Shobita Satyapal, della George Mason University, e collaboratori usano luce della banda intermedia degli infrarossi per cercare segni di buchi neri attivi nascosti in galassie prive di rigonfiamento. I raggi X provenienti da materiale che cade verso un buco nero attivo disturberebbero il gas circostante, producendo fenomeni insoliti, come stati eccitati di neon altamente ionizzato. Le emissioni di questi ioni lascerebbero tracce caratteristiche nello spettro degli infrarossi intermedi. Questo tipo di ricerca è possibile per un numero relativamente piccolo di galassie, e il gruppo di Satyapal ha trovato solo un paio di nuovi buchi neri di massa intermedia attivi. Gli astronomi hanno anche osservato segni di possibili buchi neri di massa intermedia o tra i più piccoli dei supermassicci a lunghezze d'onda dei raggi X e delle onde radio, e proseguono le osservazioni per confermare questi candidati.

Questi risultati indicano che le ricerche ottiche trascurano effettivamente numerose galassie prive di rigonfiamento che nascondono tra la polvere i loro buchi neri di massa intermedia, ma non tante da renderli comuni. Il verdetto è sospeso, ma forse solo tra il 5 e il 25 per cento delle galassie prive di rigonfiamento ospita un buco nero sufficientemente grande da essere rilevato.

Galassie in crescita e buchi neri

Le osservazioni dei buchi neri di massa intermedia nelle galassie prive di rigonfiamento possono aiutare a spiegare il collegamento tra buchi neri più massicci e rigonfiamenti più grandi. Come ho già detto, i buchi neri supermassicci nelle grandi galassie rigonfie tendono ad avere un millesimo della massa del rigonfiamento. La crescita di un buco nero supermassiccio sembra intimamente legata con la crescita del rigonfiamento che lo circonda. Se le correlazioni tra buchi neri e galassie sono fissate durante la formazione del rigonfiamento, non dovrebbero esserci collegamenti tra proprietà delle galassie prive di rigonfiamento e loro buchi neri intermedi.

Una delle teorie principali che spiegano questa correlazione nelle galassie con rigonfiamento afferma che le galassie ellittiche e i grandi rigonfiamenti si formano quando si fondono due galassie a disco. Durante la fusione, le forze gravitazionali disturbano i dischi, così le stelle non orbitano più in un disco ma si muovono a caso in una palla (la nuova forma ellittica o rigonfia). Le nubi di gas collidono durante la fusione e sono incanalate verso il centro del rigonfiamento, avviando la formazione di stelle, che incrementa la massa totale delle stelle nel rigonfiamento. Allo stesso tempo i buchi neri di ognuna delle galassie si fondono e consumano una parte del nuovo gas del centro galattico. Così grandi rigonfiamenti e buchi neri supermassicci possono svilupparsi ed evolvere insieme nel corso di questi processi su larga scala che si verificano nelle fusioni di galassie. Giunti al punto in cui il buco nero ha circa un millesimo della massa del rigonfiamento comincia a prevalere il suo aspetto di mantice, che espelle dal centro della galassia il gas rimanente e pone fine allo scatto di crescita.

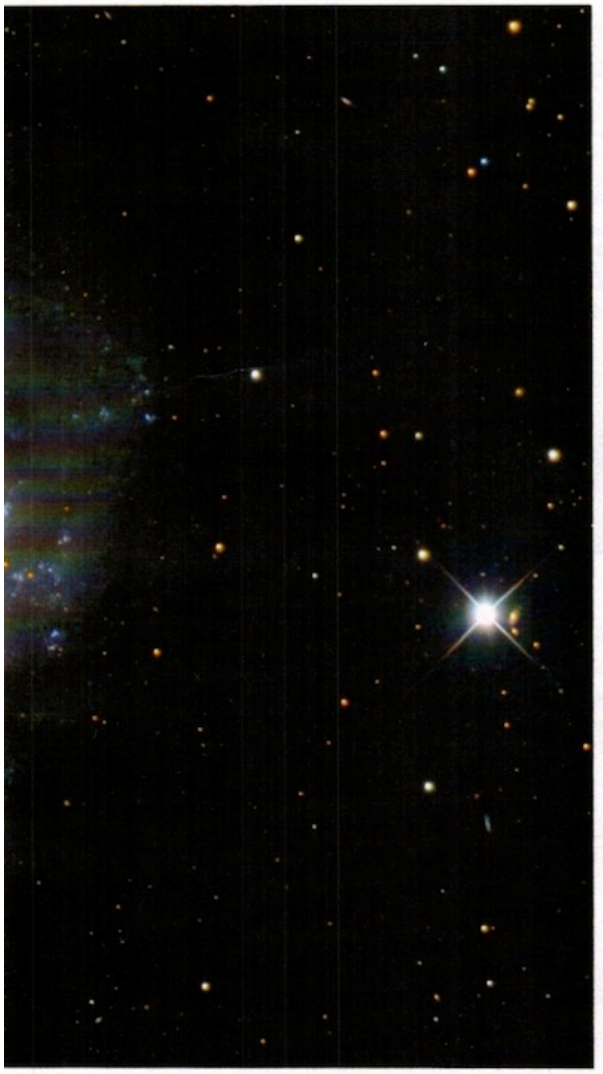


La galassia NGC 4395, una galassia a disco priva di rigonfiamento, è stata la prima a mostrare i segni della presenza di un buco nero di massa intermedia al proprio centro.

I buchi neri di massa intermedia nelle galassie prive di rigonfiamento come NGC 4395 non avrebbero mai beneficiato di un simile banchetto. Sarebbero invece germi residui cresciuti solo grazie a pasti di gas più casuali al centro della galassia, spuntini non collegati agli eventi che hanno dato forma allo sviluppo complessivo della galassia. In alcune galassie prive di rigonfiamento può non svilupparsi mai un buco nero. È il caso della galassia a disco pura M33 (con aspetto molto simile a NGC 4395), che non ha un buco nero con massa maggiore di 1500 masse solari. Si stanno accumulando prove a favore di questa tesi che collega la crescita dei buchi neri alla formazione dei rigonfiamenti, ma rimangono da chiarire molti dettagli, e il caso non è risolto.

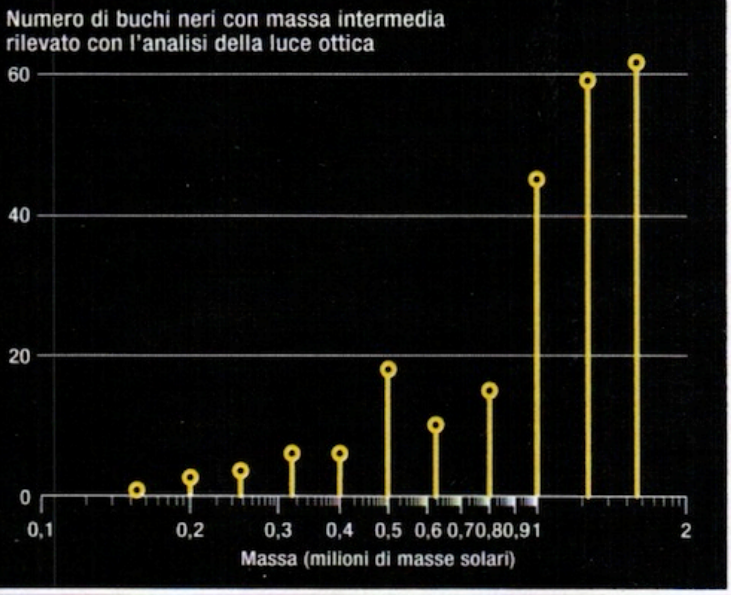
Sulla questione dell'origine dei germi dei buchi neri, la rarità dei buchi di massa intermedia va a sostegno della teoria di un collasso diretto delle nubi di gas agli inizi dell'universo. Se i germi più antichi fossero dovuti a collassi stellari, ci dovremmo aspetta-

Cortesia Bob Franke, Focal Point Observatory



Il collasso del gas è favorito rispetto alla fusione tra stelle

L'analisi della luce ottica registrata da 500.000 galassie ha rivelato oltre 100 buchi neri con masse stimate al di sotto di 2 milioni di soli (*grafico*). Altre ricerche, in cui si sono usate lunghezze d'onda nell'infrarosso intermedio, nei raggi X e nelle onde radio, hanno individuato ulteriori candidati. Sembra che la maggior parte delle galassie senza rigonfiamento non abbia un buco nero intermedio al centro. Queste osservazioni confortano lo scenario della formazione dei germi per collasso diretto. Se fosse stato il collasso di stelle a formare i primi germi, gli scienziati si sarebbero aspettati di trovare un numero maggiore di buchi neri più piccoli nell'intervallo tra 10.000 e un milione di soli.



Fonte: *A New Sample of Low-Mass Black Holes in Active Galaxies*, di Jenny E. Greene e Luis C. Ho, in «Astrophysical Journal», Vol. 670, n. 1, 20 novembre 2007

re che quasi tutte quelle galassie contenessero buchi neri da almeno 10.000 masse solari. Sembra invece che gran parte delle piccole galassie prive di rigonfiamento non contenga un buco nero simile.

Anche altre prove confermerebbero l'ipotesi del collasso diretto. In particolare, il debole collegamento tra masse dei buchi intermedi e masse delle galassie che li ospitano è molto vicino alle previsioni di questa teoria. Ed è molto più facile generare un buco nero da un miliardo di masse solari in poche centinaia di milioni di anni se il germe è pesante fin dal principio.

Certo, con l'arrivo di nuovi dati le conclusioni tratte finora possono cambiare. Per esempio, se gli astronomi osservassero galassie leggermente più fioche di quelle i cui spettri sono compresi nella Sloan Survey, la percentuale di galassie con buchi di massa intermedia potrebbe aumentare o diminuire. Ed è possibile che alcune galassie contengano buchi neri intermedi fuori del centro.

Per ora rimangono molte domande sui buchi intermedi. Sono più comuni in specifici tipi di galassie piccole? (Un collegamento del genere potrebbe suggerire nuovi modi in cui i buchi neri e le galassie che li ospitano interagiscono fin da prima delle fusioni che generano rigonfiamenti e buchi neri supermassicci.) La maggior parte della galassie prive di rigonfiamento sono prive di un buco intermedio oppure hanno buchi neri appena troppo piccoli per rilevarli, magari attorno a 1000 masse solari? (Buchi neri del genere si sarebbero formati dai resti di stelle morte e non da un collasso diretto di gas.) Oppure tutte le galassie prive di rigonfiamento hanno buchi corpulenti tra 10.000 e 100.000 masse solari ma che per la maggior parte non mangiano e risputano raggi X e luce? (Ciò modificherebbe la conclusione che buchi intermedi siano rari.)

Le risposte potrebbero spingere in direzioni radicalmente diverse le teorie sulla formazione delle galassie e dei germi di buchi neri. ■

PER APPROFONDIRE

A Low-Mass Central Black Hole in the Bulgeless Seyfert 1 Galaxy NGC 4395. Filippenko A.V. e Ho L.C., in «Astrophysical Journal», Vol. 588, n. 1, pp. L13-L16, 1° maggio 2003.

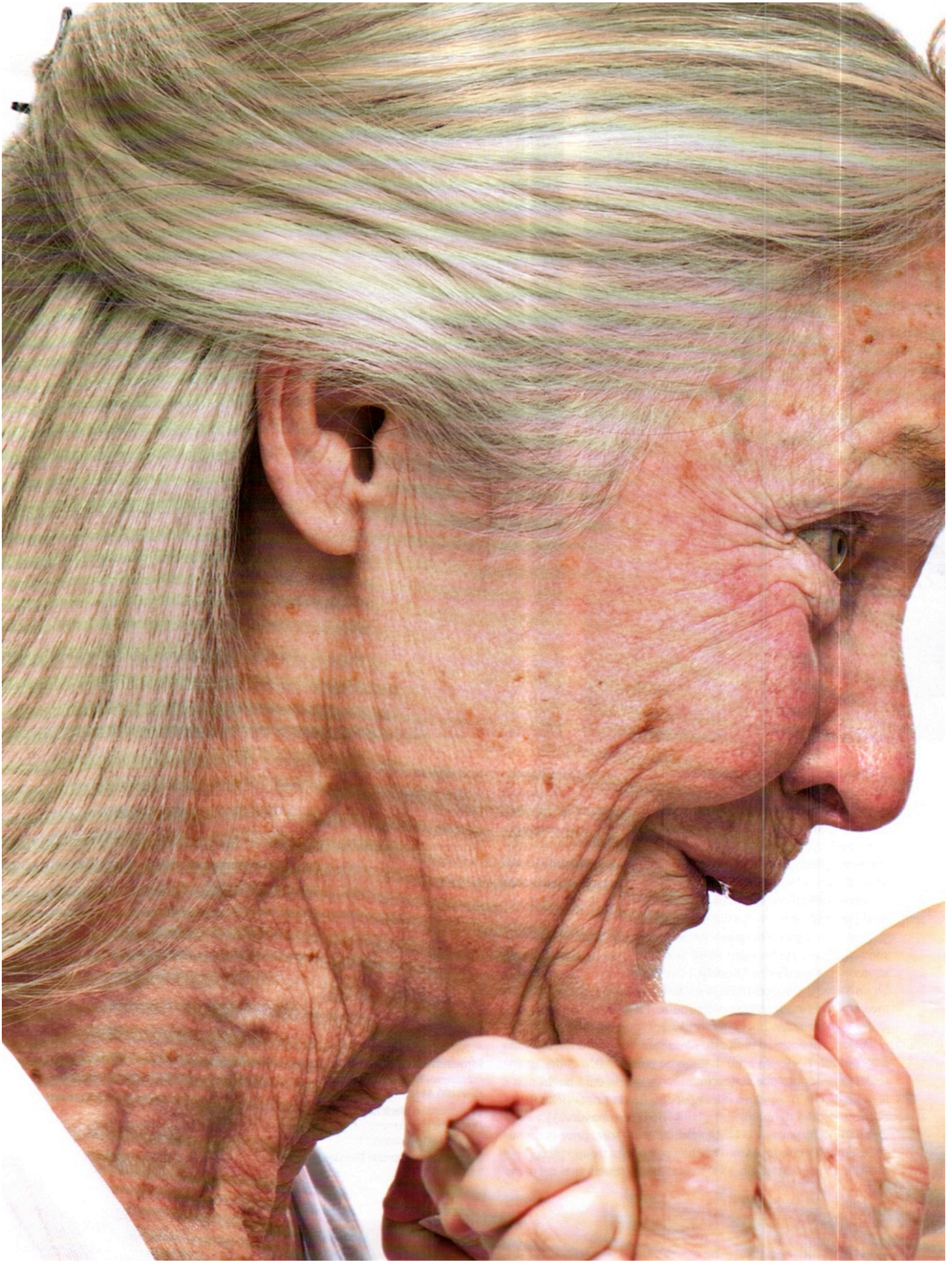
Active Galactic Nuclei with Candidate Intermediate-Mass Black Holes. Greene J.E. e Ho L.C., in «Astrophysical Journal», Vol. 610, n. 2, pp. 722-736, 1° agosto 2004.

Nuclear Activity in Nearby Galaxies. Ho L.C., in «Annual Review of Astronomy and Astrophysics», Vol. 46, pp. 475-539, settembre 2008. **arxiv.org/abs/0803.2268.**

Formation of Supermassive Black Holes. Volonteri M., in «Astronomy and Astrophysics Review», Vol. 18, n. 3, pp. 279-315, luglio 2010. **arxiv.org/abs/1003.4404.**

Supermassive Black Holes Do Not Correlate with Galaxy Disks or Pseudobulges. Kormendy J., Bender R. e Cornell M.E., in «Nature», Vol. 469, pp. 374-376, 20 gennaio 2011.

Big Black Hole Found in Tiny Galaxy. Greene J.E., in «Nature», Vol. 470, pp. 45-46, 3 febbraio 2011.



BIOLOGIA

Una nuova strada verso la longevità

Nuove ricerche hanno svelato un antico meccanismo che ritarda l'invecchiamento, aprendo la via allo sviluppo di farmaci per ritardare l'insorgere di malattie legate alla vecchiaia

di David Stipp

Fotografie di Evan Kafka; hair and makeup by Nikki Wang

David Stipp è autore di libri e articoli scientifici di Boston, che dai tardi anni novanta ha messo al centro dei suoi interessi la gerontologia. Nel 2010 ha pubblicato sull'argomento il libro *The Youth Pill: Scientists at the Brink of an Anti-Aging revolution*.

In un chiaro mattino del 1964, la *HMCS Cape Scott*, della Reale Marina Canadese, salpava dal porto di Halifax, nella Nuova Scozia, per una spedizione destinata a durare quattro mesi. Sotto la guida di Stanley Skoryna, della McGill University, otto scienziati fecero rotta per l'Isola di Pasqua, una scheggia vulcanica che spunta dall'Oceano Pacifico 2200 miglia a est della costa cilena. Si stava pianificando la costruzione di un aeroporto suquell'isola così remota, famosa per le sue misteriose e gigantesche teste scolpite, e il gruppo intendeva studiarne la gente, la flora e la fauna finché restavano incontaminate dalla modernità.

Il gruppo di Skoryna raccolse centinaia di campioni di piante e animali, oltre che di sangue e saliva di tutti i 949 residenti dell'isola. Ma il campione più prezioso si è rivelato una provetta di polvere raccolta da terra: conteneva un batterio che fabbrica a fini difensivi un composto dotato di una proprietà stupefacente: la capacità di accrescere la durata della vita in diverse specie di animali.

Varie ricerche hanno dimostrato che questa sostanza, battezzata rapamicina dal nome indigeno dell'isola di Pasqua, Rapa Nui, allunga la durata massima della vita dei topi di laboratorio rispetto a quella degli animali non trattati. In passato sono state fatte affermazioni alquanto dubbie su pretese proprietà anti-invecchiamento di altre sostanze, partendo da dati che mostravano un allungamento della vita media: cosa che può essere ottenuta mediante farmaci che riducono le morti premature ma non hanno nulla a che vedere con l'invecchiamento. Al contrario, un aumento della durata *massima* della vita (spesso misurato come durata media della vita del 10 per cento della popolazione che vive più a lungo) è il segno distintivo di un vero e proprio rallentamento del processo di invecchiamento. Nessun altro farmaco era mai riuscito a estendere in modo convincente la durata massima della vita nei mammiferi nostri parenti: per la gerontologia, è un risultato equivalente al superamento della barriera del suono. Il successo ottenuto nei topi ha quindi cambiato le regole del gioco.

Nel corso degli anni le speranze di scoprire composti efficaci contro l'invecchiamento hanno conosciuto una serie di alti e bassi. L'ottimismo è cresciuto con la scoperta di mutazioni geniche che aumentano la durata massima della vita in alcuni animali e con i nuovi dati su come in molte specie la restrizione calorica produce lo stesso effetto. Ma questi progressi, per promettenti che fossero, non sono riusciti a rivelare nessun farmaco che potesse allungare i termini della longevità nei mammiferi. Anche se la restrizione calorica, che comporta una dieta adeguata in termini nutrizionali ma molto vicina alla fame, può sia fare questo sia ritardare l'insorgenza di cancro, malattie neurodegenerative, diabete e altri disturbi legati all'età nei topi, una dieta così stringente non è un'opzione praticabile per la maggior parte degli esseri umani.

Nel 2006 è sembrato che il resveratrolo, sostanza contenuta nel vino rosso che riproduce nei topi alcuni degli effetti della restrizione calorica, potesse infrangere la barriera; si è visto infatti che bloccava gli effetti di accorciamento della vita di una dieta ad alto contenuto di grassi. Ma poi la sostanza, che si ritiene agisca su enzimi chiamati sirtuine, non è riuscita a allungare la durata massima della vita in topi alimentati in modo normale.

Il quadro è tornato improvvisamente a illuminarsi d'ottimismo a metà del 2009, quando sono stati annunciati i risultati relativi alla rapamicina. Un terzetto di laboratori ha riferito congiuntamente che la rapamicina, di cui fino ad allora si sapeva che inibisce la crescita cellulare, aveva esteso la durata massima della vita nei topi del 12 per cento circa. Per di più, con grande stupore dei gerontologi, il farmaco aveva allungato di un terzo la sopravvivenza media di topi già anziani, che si riteneva fossero già stati troppo danneggiati dalla vecchiaia per poter rispondere al trattamento.

Il fatto che la rapamicina abbia infranto la barriera della durata della vita nei mammiferi ha indirizzato l'attenzione su un meccanismo vecchio di un miliardo di anni che sembra regolare l'invecchiamento nei topi e in altri animali, e potrebbe benissimo farlo anche nella nostra specie. Il suo attore principale è una proteina denominata TOR, insieme al gene che ne specifica la costituzione. TOR è attualmente oggetto di intense ricerche sia in gerontologia sia in medicina applicata, visto che una crescente massa di studi sugli animali e sull'uomo fa pensare che sopprimere l'attività esercitata nelle cellule dalla sua versione nei mammiferi (detta mTOR) possa far scendere il rischio di contrarre alcune fra le principali malattie legate all'età, fra cui cancro, morbo di Alzheimer, morbo di Parkinson, degenerazione del muscolo cardiaco, diabete di tipo 2, osteoporosi e degenerazione maculare senile. Questa notevole varietà di potenziali benefici implica che se si trovasse un farmaco capace di agire in modo sicuro e affidabile su mTOR lo si potrebbe usare per rallentare il processo di invecchiamento negli esseri umani: una possibilità che ha profonde implicazioni per la medicina preventiva. (La rapamicina di per sé, purtroppo, ha effetti collaterali che probabilmente impediscono di verificarne la capacità di rallentamento dell'invecchiamento umano.)

Previsioni analoghe erano state formulate per altri farmaci che agiscono su altre molecole, in particolare sulle sirtuine. E allora, che c'è di diverso in mTOR? L'aver trovato che un farmaco è stato in grado di estendere, in modo convincente, la durata massima della vita in un mammifero agendo appunto su questa molecola, significa che mTOR ha un'importanza centrale per i processi di in-

IN BREVE

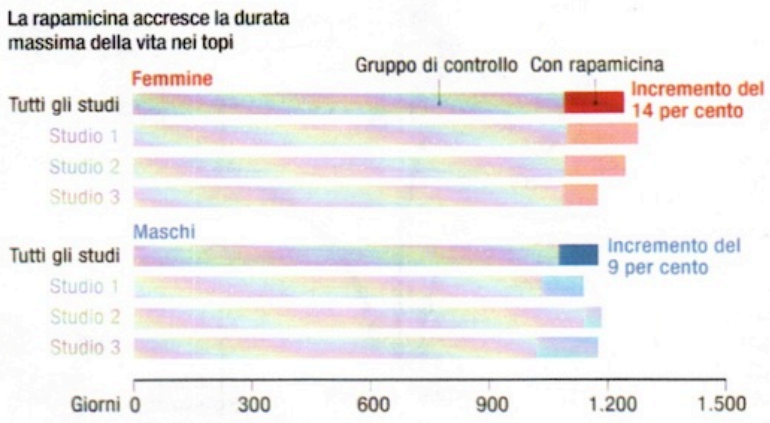
Nel 2009 è stato scoperto che un farmaco chiamato rapamicina poteva allungava significativamente la durata della vita nei topi, interferendo con l'attività di una proteina detta TOR (mTOR nei mammiferi).

Si tratta della prova più convincente ottenuta finora della possibilità di rallentare per via farmaceutica l'invecchiamento nei mammiferi, e ha stimolato grande interesse per il ruolo di mTOR nei processi di invecchiamento.

La scoperta solleva un interrogativo: perché la soppressione della crescita e della replicazione cellulare (dovuta all'interferenza con mTOR) dovrebbe allungare la durata della vita?

La risposta potrebbe condurci a farmaci che ritardino o mitighino i disturbi legati all'invecchiamento e che forse potranno addirittura allungare la durata massima della vita umana.

Nascita del supertopo



Nel 2009 tre studi paralleli condotti sui topi hanno mostrato che un farmaco chiamato rapamicina estende la durata massima della vita di questi animali in una misura compresa tra il 9 e il 14 per cento. (Per «durata massima della vita» si intende qui la longevità media del 10 per cento della popolazione che vive più a lungo.) Era la prima volta che un farmaco risultava capace, in modo convincente, di accrescere la longevità massima nei mammiferi. Questo importante risultato ha ravvivato la speranza che un giorno una semplice medicina possa ritardare l'invecchiamento negli esseri umani e proteggere la salute degli anziani, anche se i suoi effetti collaterali impediscono probabilmente che questo farmaco possa essere proprio la rapamicina.

vecchiamento dei mammiferi e che oggi i ricercatori sono più vicini di quanto non siano mai stati a trovare il modo di frenare questi processi. «Sembra proprio che TOR sia la cosa più grossa che c'è in giro, e probabilmente per i prossimi dieci anni», dice Kevin Flurkey, gerontologo del Jackson Laboratory di Bar Harbour, nel Maine, coautore dello studio sulla rapamicina condotto nei topi.

Storia di una proteina

Le ricerche che hanno condotto alla scoperta dell'influenza di TOR sui processi di invecchiamento ebbero inizio quando la spedizione di Skoryna trasmise i suoi campioni a quelli che allora erano gli Ayerst Laboratory di Montreal. Le industrie farmaceutiche avevano cominciato a trovare antibiotici in qualche pizzico di terriccio già negli anni quaranta; quindi i ricercatori della Ayerst esaminarono i campioni in cerca di composti ad attività antimicrobica.

Nel 1972 ne tirarono fuori un inibitore fungino, che chiamarono rapamicina. La Ayerst sperava di poterlo usare per il trattamento delle infezioni da lieviti, ma poi, esplorandone le proprietà, si capì che era in grado di ostacolare la proliferazione delle cellule del sistema immunitario, e questo portò a svilupparla come farmaco per prevenire il rigetto degli organi trapiantati (nel 1999 la rapamicina ha ottenuto l'approvazione della Food and Drug Administration per l'uso nei pazienti che hanno subito il trapianto di rene). Negli anni ottanta si scoprì inoltre che il farmaco inibisce la crescita tumorale; dal 2007 due suoi derivati – il temsirolimus della Pfizer e l'everolimus della Novartis – sono stati approvati per il trattamento di vari tipi di cancro.

I biologi erano affascinati dalla capacità della rapamicina di deprimere la proliferazione sia delle cellule di lievito sia di quelle umane; la cosa faceva pensare che il composto sopprimesse l'azione di un gene regolatore della crescita che si era conservato per tutto il miliardo di anni di evoluzione che separa il lievito dall'uomo. Nel 1991 Michel N. Hall e colleghi, all'Università di Basilea, in Svizzera, identificarono questo antico bersaglio molecolare scoprendo che la rapamicina inibisce gli effetti di due geni che controllano la crescita nel lievito, che chiamaronoo *TOR1* e *TOR2*. Tre anni dopo vari ricercatori isolarono indipendentemente geni *TOR* di mammifero. Oggi si sa che anche molte altre specie, fra cui vermi, insetti e piante, sono dotate di geni *TOR*, che governano la crescita cellulare.

Nel corso degli anni novanta si scoprirono molte altre cose sul ruolo di questi geni nelle cellule e nell'insieme dell'organismo, parecchie delle quali si sono poi rivelate importanti per l'invecchiamento. In particolare si è scoperto che il gene codifica per un enzima – una proteina dotata di attività catalitica – che nel citoplasma si combina con diverse altre proteine formando un complesso detto TORC1, che sovrintende a una gamma di attività legate alla crescita nelle cellule. La rapamicina agisce appunto soprattutto su TORC1. Un secondo complesso meno conosciuto, indicato con TORC2, incorpora anch'esso l'enzima TOR.

I gruppi di ricerca hanno inoltre dimostrato che TOR funziona da sensore dei nutrienti. Quando il cibo è abbondante la sua attività aumenta, spingendo le cellule a incrementare la produzione complessiva di proteine e a dividersi. Quando il cibo è scarso, invece, l'attività di TOR cala, e la risultante riduzione della produzione di proteine e della divisione cellulare fa conservare risorse. Allo stesso tempo aumenta un processo detto autofagia: la cellula degrada componenti difettosi come proteine malformate, o mitocondri che non funzionano a dovere, producendo composti più semplici che possono essere usati come carburante o come materiale da costruzione. I topi appena nati usano l'autofagia come fonte energetica prima di cominciare a succhiare il latte materno. Quando poi il cibo ritorna disponibile l'altalena tra TOR e autofagia torna indietro: sale l'attività dell'una e l'altra rallenta.

Si è anche scoperto che negli animali le vie di segnalazione che fanno capo a TOR e all'insulina sono intrecciate fra loro; per «vie di segnalazione» si intendono sequenze di interazioni molecolari che controllano le attività delle cellule. L'insulina è l'ormone secreto dal pancreas dopo i pasti che segnala ai muscoli e altre cellule che è il momento di assorbire il glucosio dal sangue, da cui ricaveranno energia. Ma l'insulina è anche un fattore di crescita; insieme a una serie di proteine collegate contribuisce infatti a stimolare la via di segnalazione di TOR, cosa che induce molte cellule in ogni parte del corpo a crescere di dimensioni e proliferare in risposta all'assunzione di nutrienti. Un altro aspetto che ha importanti conseguenze sulla salute è che il collegamento fra la via controllata dall'insulina e quella controllata da TOR include un anello di retroazione negativa; la stimolazione di TOR rende le cellule meno sensibili ai segnali portati dall'insulina. Un'alimentazione cronicamente eccessiva, dunque, attiva in modo eccessivo TOR e rende

Grafica: Jen Christiansen; fonte: David E. Harrison e altri, *Rapamycin fed late in life extends lifespan in genetically heterogeneous mice*, in «Nature», Vol. 460, 16 luglio 2009

Storia di una molecola a due facce

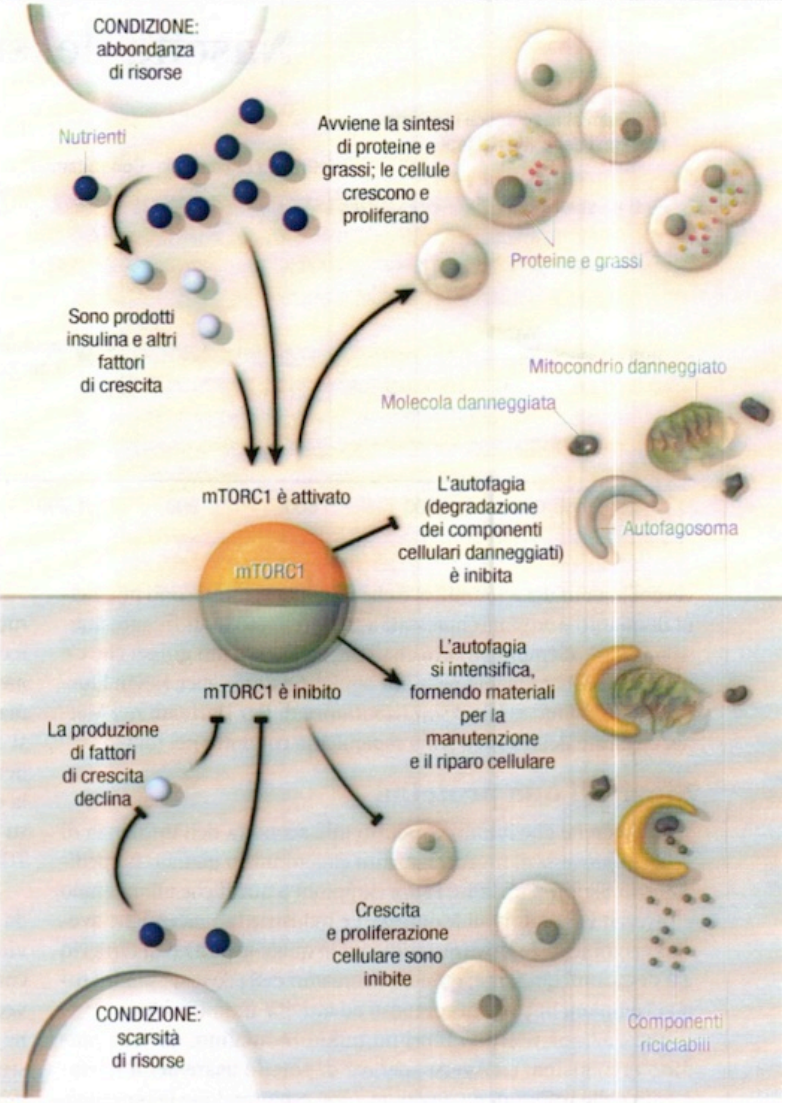
Nel lievito e negli animali la rapamicina prolunga la vita inibendo una proteina detta TOR; in parte anche la restrizione calorica rallenta l'invecchiamento agendo sulla stessa proteina. Le ricerche su come TOR agisce nella cellula indicano che la proteina ha una faccia «buona» e una «cattiva».

Nelle fasi iniziali della vita è infatti un sensore dello stato nutrizionale dell'organismo essenziale per la crescita e lo sviluppo (*qui accanto, a destra*). Proseguendo la sua azione dopo la maturità, però, la proteina può pregiudicare le funzioni cellulari (*all'estrema destra*) e danneggiare i tessuti.

I ricercatori sospettano che negli esseri umani questi effetti tardivi di TOR contribuiscano all'invecchiamento e alle malattie a esso associate. Le figure presentate qui a fianco, centrate sulle funzioni della proteina TOR dei mammiferi (mTOR), presentano un quadro altamente semplificato; in realtà TOR è influenzata e a sua volta influenza tutta una complessa rete di interazioni molecolari nelle cellule. (Le frecce che terminano a punta indicano un'azione di stimolo, le altre un'inibizione.)

La faccia buona: un sensore essenziale all'inizio della vita

La proteina mTOR produce molti dei suoi effetti come parte di un complesso detto mTORC1. Quando il nutrimento è abbondante (*in alto*), cosa che evoca l'aumento della produzione di insulina e proteine collegate, mTORC1 risponde stimolando la sintesi di proteine e grassi e favorendo crescita e divisione delle cellule. Inoltre istruisce le cellule a rallentare l'autofagia – un processo che degrada mitocondri e molecole danneggiati. Quando il cibo o altre risorse sono scarsi (*in basso*), l'attività di mTOR si attenua, di modo che le cellule privilegiano l'autoconservazione rispetto alla replicazione. Insieme, aumenta l'autofagia, fonte di emergenza di materiali grezzi per la riparazione cellulare e la produzione di energia.



le cellule sempre più insensibili all'insulina; questa «insulino-resistenza» può condurre a sua volta all'aumento del livello di zucchero nel sangue e al diabete, e può contribuire anche ad altri disturbi legati all'età come quelli cardiaci.

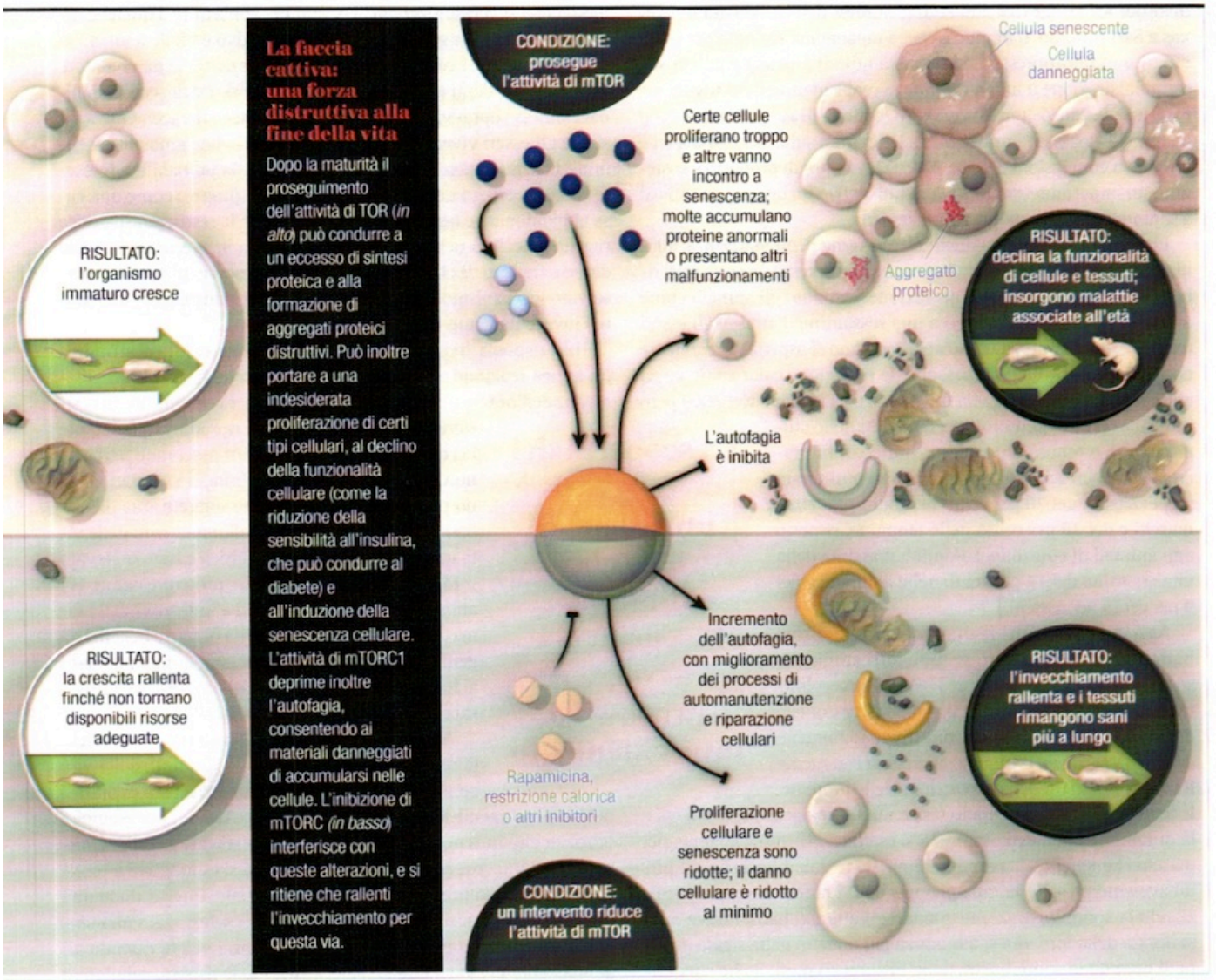
Oltre che alle carenze nutrizionali, TOR reagisce anche ad altre forme di stress cellulare, come bassa disponibilità di ossigeno e danneggiamento del DNA. In generale l'attività di TOR si abbassa ogni volta che le cellule percepiscono una minaccia per la sopravvivenza. Il rallentamento della produzione delle proteine e della proliferazione cellulare che ne consegue libera risorse che le cellule possono allora incanalare verso la riparazione del DNA e altre misure difensive. Studi condotti nei moscerini della frutta mostrano anche che mentre la sintesi delle proteine subisce un'ampia riduzione generale in seguito al passaggio a questa modalità di «allarme rosso», in essa si verificano anche alterazioni che conducono alla produzione selettiva di alcuni componenti chiave dei mitocondri, che forse aiutano le cellule a ringiovanire i propri sistemi energetici. Indubbiamente questa molteplice e sfaccettata «risposta di stress» si è evoluta per aiutare le cellule ad affrontare condizioni difficili, ma è possibile che, come effetto collaterale, le renda insieme più resistenti agli insulti del tempo.

Il legame con l'invecchiamento

L'idea che TOR influisca sull'invecchiamento risale a risultati ottenuti a metà degli anni novanta, secondo i quali le cellule che non ricevono abbastanza nutrienti riducono la loro crescita abbassando l'attività di TOR. Qualcosa di simile era già stato osservato: nel 1935 Clive McCay, della Cornell University, aveva mostrato che allevare giovani ratti alimentandoli prossima alla denutrizione ne rallentava la crescita e, *insieme*, ne allungava straordinariamente la vita. Da allora la restrizione calorica si è dimostrata capace di estendere la durata massima della vita in una gamma di specie che va dai lieviti ai ragni e ai cani; e le prove preliminari fanno pensare che abbia lo stesso effetto anche nelle scimmie. Un taglio della normale assunzione calorica di circa un terzo nella fase iniziale della vita in genere ne incrementa la durata massima della vita dal 30 al 40 per cento, ritardando il deterioramento dovuto all'età; i macachi rhesus anziani degli studi di restrizione calorica a lungo termine appaiono straordinariamente sani e giovanili.

L'approccio non funziona sempre (ad alcuni ceppi murini accorcia la vita) ma vi sono prove crescenti che la restrizione calorica può promuovere l'invecchiamento in buona salute anche negli esseri umani. Quindi identificare un composto che evochi gli effet-

Illustrazione di Emily Cooper



ti della restrizione calorica senza indurre la sensazione della fame è fra gli obiettivi principali degli studi sull'invecchiamento.

Nei primi anni di questo secolo si era ormai arrivati a conoscere le funzioni di TOR abbastanza da sospettare che bloccarne l'influenza sulle cellule potesse imitare l'effetto della restrizione calorica. Nel 2003 Tibor Vellai, dell'Università di Friburgo, ha diretto un studio che ci ha dato le prime prove che inibire TOR potrebbe essere utile per opporsi all'invecchiamento: sopprimendo per via genetica la sintesi di TOR nei vermi, la durata media della loro vita è più che raddoppiata. Un anno più tardi uno studio condotto al California Institute of Technology da Pankaj Kapahi ha dimostrato che sopprimendo l'attività di TOR nei moscerini della frutta se ne aumentava la durata media della vita, proteggendo gli insetti dalle conseguenze di una dieta ricca, proprio come nella restrizione calorica. E nel 2005 Brian Kennedy, allora alla Washington State University, ha ulteriormente confermato il legame tra TOR e invecchiamento mostrando che se si bloccano vari geni della via legata a TOR nel lievito se ne accresce la longevità.

Questi risultati sono particolarmente interessanti perché suggeriscono che l'inibizione di TOR possa imitare non solo la restrizione calorica ma anche gli effetti di alcuni geni mutanti noti per accrescere la durata della vita. Il primo di questi «gerontogeni» era stato scoperto circa un decennio prima nei nematodi, la cui durata di vita sia media sia massima risulta raddoppiata da certe mutazioni; in seguito si è dimostrato che interrompe l'equivalente in quella specie della via di segnalazione dell'insulina. La scoperta che l'invecchiamento, fino ad allora ritenuto un processo di complessità intrattabile, poteva essere decisamente rallentato dall'alterazione di un unico gene, ha contribuito a far diventare la gerontologia un tema all'ordine del giorno, suggerendo, fra l'altro, che l'invecchiamento umano poteva essere ritardato con i farmaci. A rafforzare l'idea è poi venuta la scoperta nei topi di vari gerontogeni, il cui effetto è di bloccare i segnali di crescita, compresi quelli trasmessi alla cellula dall'insulina e da un ormone a essa strettamente collegato detto fattore di crescita insulino-simile di tipo 1. Nel 2003 un topo portatore di una di queste mutazioni ha stabilito il record di longevità per la sua specie: quasi cinque anni contro 30 mesi.

Si potrebbe pensare che i collegamenti messi in luce tra TOR, restrizione calorica e gerontogeni abbiano ispirato una corsa a verificare gli effetti della rapamicina nei mammiferi. Ma fino qualche anno fa gli esperti di invecchiamento dei mammiferi «non hanno preso affatto sul serio TOR», dice Steven Austad, del Barshop

Institute for Longevity and Aging Studies dell'Università del Texas a San Antonio. Il motivo è che la rapamicina era nota per i suoi effetti immunosopressivi: si tendeva quindi a pensare che la sua somministrazione a lungo termine avrebbe avuto effetti tossici nei mammiferi. Ma Zelton Dave Sharp, collega di Austad al Barshop Institute, ha passato in rassegna la letteratura sulla rapamicina ed è arrivato a conclusioni diverse. Nel 2004 ha quindi proposto e sostenuto un importante studio sulla durata della vita dei topi sottoposti a somministrazione cronica di rapamicina.

Finanziata dal National Institute on Aging degli Stati Uniti, all'inizio la ricerca sembrava avviata verso l'insuccesso; ci sono stati ritardi nell'inizio della somministrazione, e intanto gli animali erano all'età di 20 mesi, equivalenti a una sessantina d'anni negli esseri umani. A quel punto, dice Austed, «nessuno si aspettava realmente che funzionasse», dato che neppure la restrizione calorica riesce ad allungare la durata della vita in animali così anziani. Nel 2009 però i tre laboratori di gerontologia coinvolti nello studio hanno ottenuto un risultato storico. Il farmaco aveva accresciuto la speranza di vita in modo stupefacente: del 28 per cento nei roditori anziani maschi e del 38 per cento nelle femmine, rispetto agli animali di controllo. La durata massima della vita era salita del 14 per cento nelle femmine e del 9 per cento nei maschi.

Agli entusiasmanti risultati ottenuti nei topi hanno rapidamente fatto seguito altri studi, che sottolineano l'importanza di TOR nell'invecchiamento. Alcuni ricercatori dello University College di Londra hanno riferito che disattivando un gene detto *S6K1*, che dà origine a un enzima che media il controllo di TOR sulla produzione delle proteine, le femmine di topo diventano resistenti alle malattie legate all'età e la durata massima della loro vita si estende. (Misteriosamente, nei maschi i benefici risultavano minimi.) E i tre laboratori che per primi avevano provato la rapamicina sui topi hanno riferito che iniziando la somministrazione quando gli animali hanno nove mesi la durata della loro vita si allungava più o meno nella stessa misura di quando la somministrazione inizia a 20 mesi, il che suggerisce che la rapamicina conferisca i suoi benefici soprattutto dopo la mezza età, forse perché è allora che si verifica, per la maggior parte, il deterioramento cui si oppone la sua azione.

Il fatto che l'inibizione di TOR prolunghi la vita superando le barriere di specie è una sorta di faro nell'oscurità che avvolge i processi molecolari legati all'invecchiamento. Ciò non significa però che altre vie molecolari legate all'invecchiamento non siano importanti per la longevità. In effetti si tende sempre più a considerare le vie metaboliche su cui influisce la restrizione calorica come parte di una rete complessa e polivalente. Fra i componenti di questa rete vi sono enzimi legati all'insulina e proteine dette FoxOs che attivano le risposte di stress nelle cellule. Considerevoli prove indicano che anche le sirtuine contribuiscono a indurre i benefici della restrizione calorica nei mammiferi e che potrebbero, in alcune circostanze, partecipare all'inibizione di TOR.

Un enigma che inizia a chiarirsi

Cercando di capire meglio il modo in cui l'inibizione di TOR e la restrizione calorica estendono la durata della vita, ci si è fatalmente imbattuti in un annoso interrogativo: perché l'evoluzione avrebbe fatto emergere meccanismi per ritardare l'invecchiamento?

La questione lascia perplessi, perché la selezione lavora per promuovere il successo riproduttivo, non per consentire a qualche organismo di fare gli straordinari, restando attivo e vitale a un età in cui, tipicamente, i conspecifici sono stati spazzati via da predatori, infezioni, incidenti e simili. Dati questi fattori «estrinseci» che minacciano la sopravvivenza, l'evoluzione riesce efficacemente a far sì che gli esseri viventi si riproducano prima che l'ambiente li elimini; in seguito però, man mano che scende la probabilità di essere rimasti vivi, gli organismi si deteriorano, proprio come una casa abbandonata e lasciata a se stessa. Eppure la restrizione calorica ritarda il declino nella parte finale della vita in specie anche assai diverse fra loro, il che significa che deve evocare un antico e preservato meccanismo, forgiato dalla selezione naturale per rallentare l'invecchiamento in determinate circostanze.

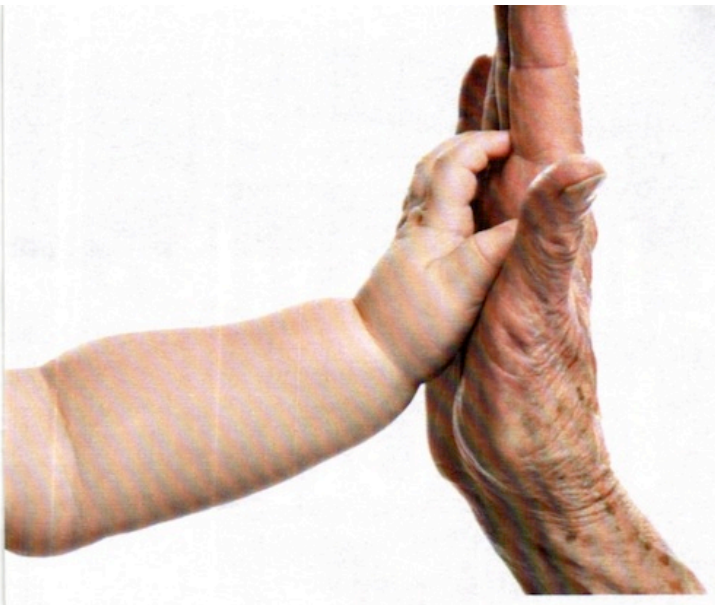
Una risposta frequente è che la restrizione calorica attinge a un'antica reazione all'insufficienza di cibo che frena l'invecchiamento dell'organismo nei tempi di magra per consentirgli di resistere abbastanza a lungo da riprodursi quando poi le condizioni migliorano. Altri osservano però che non vi sono prove che gli animali selvatici vivano più a lungo quando sono soggetti una dieta a basso contenuto calorico; l'allungamento della vita in seguito a restrizione calorica è stato osservato solo in animali di laboratorio, protetti e curati. Gli animali selvatici già smagriti e indeboliti dalla fame avrebbero poche possibilità di trarre benefici da geni che rallentino l'invecchiamento e di passarli ai loro discendenti, dando così origine a una risposta evolutiva all'insufficienza di cibo.

La scoperta del ruolo di TOR è una sorta di faro che illumina l'oscurità che avvolge i processi di invecchiamento

Alcuni considerano più sensata un'altra idea: la restrizione calorica estende la durata della vita come effetto collaterale di una risposta evolutasi per scopi indipendenti dall'invecchiamento. Austad, per esempio, teorizza che in tempi di magra gli animali selvatici si disperdano e mangino cose per loro insolite, e quindi si espongano a tossine che non sono presenti nel loro cibo abituale. Questa «modalità intensificata» di ricerca del cibo potrebbe aver selezionato una tendenza a incrementare le difese interne contro i veleni quando gli animali cominciano a fare la fame, attivando le risposte cellulari di stress e riparazione che l'accompagnano e così, di passata, rallentando l'invecchiamento.

Mikhail V. Blagosklonny, del Roswell Park Cancer Institute di Buffalo, ha usato le scoperte su TOR per proporre un'altra teoria, che spiega la magia operata dalla restrizione calorica come una sorta di incidente. Blagosklonny ha tratto ispirazione da un'idea poco ortodossa: la capacità di crescere, che sembra l'essenza stessa della gioventù, è ciò che in seguito ci porta alla tomba. La restrizione calorica prolunga la vita, interferendo con gli effetti imprevisti delle vie che governano la crescita, fra le quali quella legata a TOR è la più importante.

Secondo la teoria di Blagosklonny una volta raggiunta la maturità TOR, che è essenziale per lo sviluppo e la riproduzione, diventa il motore dell'invecchiamento. Con i suoi segnali di stimolo alla crescita, contribuisce infatti alla proliferazione della muscolatura liscia delle arterie (un passaggio chiave dell'aterosclerosi), all'accumulo del grasso (uno dei fattori che spingono all'infiammazione in tutte le parti del corpo), allo sviluppo della resistenza all'insulina, alla moltiplicazione delle cellule, dette osteoclasti, che degradano le ossa, e alla crescita dei tumori. In più, deprimendo i processi di autofagia, TOR favorisce l'accumulo di proteine che tendono ad aggregarsi fra loro e di mitocondri difettosi, che emettono radica-



li liberi dannosi per il DNA e peggiorano il metabolismo energetico delle cellule. TOR contribuirebbe inoltre all'aggregazione di proteine resistenti ai processi degradativi nei neuroni, che ha un ruolo nel morbo di Alzheimer e in altre forme neurodegenerative. Blagosklonny ha anche mostrato come, in tarda età, TOR possa contribuire a indurre lo stato di senescenza cellulare, che danneggia le cellule circostanti e mina le capacità rigenerative dei tessuti.

Tutto ciò, sostiene Blagosklonny, chiarisce che l'evoluzione non ha affatto dato origine a un meccanismo volto a rallentare l'invecchiamento. Piuttosto, gli effetti di allungamento della durata della vita manifestati dalla rapamicina, dalla restrizione calorica e dalle mutazioni geniche che bloccano certi ormoni che favoriscono la crescita non sono che accidenti della natura; fattori che interferiscono inopinatamente con la «crescita distorta» di cui è fatto l'invecchiamento, facendo sì che proceda più lentamente del solito. In effetti, la via di TOR si comporta in modo molto simile a quel che potrebbe fare un programma di invecchiamento, anche se il suo fine è facilitare le fasi iniziali dello sviluppo.

La teoria di Blagosklonny è nuova, ma una delle sue fonti ispiratrici è un'ipotesi ormulata nel 1957 dal biologo evoluzionista George Williams. Williams teorizzò che l'invecchiamento fosse provocato da geni che sono benefici nelle prime fasi della vita ma più tardi diventano dannosi. Questo tipo di geni sarebbe favorito dall'evoluzione perché, affermava Williams, «ogni volta che sorge un conflitto di interessi la selezione naturale favorisce pregiudizialmente la giovinezza rispetto alla vecchiaia». Secondo Blagosklonny, il gene *TOR* è un esempio paradigmatico di questo tipo di geni.

Ad alcuni scienziati, tuttavia, sembra che Blagosklonny dia troppo peso a TOR, mentre altri considerano essenziali aspetti di TOR diversi dalla promozione della crescita; c'è chi ritiene, per esempio, che l'effetto più importante di questa proteina sull'invecchiamento sia l'inibizione dell'autofagia, che rinnova i componenti delle cellule. Altri esperti, comunque, considerano plausibile la teoria e lo svizzero Hall le riconosce il merito di «aver unito in una figura coerente una serie di puntini che altri neppure riuscivano vedere».

TOR e il futuro della medicina

Se TOR ha un ruolo essenziale nell'invecchiamento, quali sono le possibilità di addomesticarne l'azione? Gli effetti collaterali della rapamicina potrebbero impedirci di prenderla in considerazione come farmaco anti-invecchiamento negli esseri umani, visto che, fra le altre cose, può far salire il colesterolo nel sangue, causare anemia e interferire con la guarigione delle ferite.

Un'alternativa potrebbe essere offerta da un altro farmaco, la metformina, anche se serviranno molte verifiche. La metformina è il farmaco più prescritto per il trattamento del diabete – milioni di persone l'hanno assunta in tutta sicurezza per abbassare la concentrazione sanguigna del glucosio. Il suo meccanismo d'azione non è ben compreso, ma si sa che inibisce la via di TOR e che attiva un altro enzima legato all'invecchiamento detto AMPK, che è stimolato in modo analogo dalla restrizione calorica e promuove la risposta di stress nelle cellule. Si è visto anche che la metformina emula gli effetti della restrizione calorica sui livelli di attività di alcuni geni nei topi, e qualche risultato indica che potrebbe accrescere la durata massima della vita nei roditori. Ma ci vorranno anni per verificare se può imitare gli effetti della restrizione calorica negli esseri umani, anche se sono in corso rigorose verifiche della sua capacità di estendere la durata della vita nei topi.

Accrescere la durata della vita umana in misura proporzionale a quella in cui la rapamicina allunga quella dei topi potrebbe forse aggiungere, in media, da 5 a 10 anni. Sarebbe un risultato enorme. La speranza di vita nel mondo sviluppato è talmente cresciuta nel secolo scorso che quando si tratta di invecchiamento siamo un po' come atleti olimpici che cercano di limare le loro prestazioni ottenendo miglioramenti incrementali sempre più piccoli.

Poiché abbiamo ormai ridotto la mortalità infantile fin quasi al minimo possibile, per incrementare la speranza di vita dovremo necessariamente far indietreggiare le malattie legate all'invecchiamento. Il costo della medicina geriatrica suggerisce che questo possa essere davvero difficile, ma farmaci capaci di rallentare l'invecchiamento potrebbero permetterci di gestire la cosa a costi accessibili. Potrebbero servire da medicine preventive per ritardare l'insorgenza o rallentare la progressione dei mali della vecchiaia – demenza, osteoporosi, cataratta, cancro, perdita di massa e forza muscolare, sordità e forse persino le rughe della pelle – proprio come le medicine che abbassano pressione sanguigna e livelli ematici di colesterolo ci aiutano a rinviare a dopo la mezza età gli attacchi di cuore. E il tempo in più che ci darebbero sarebbe tempo di vita piena e attiva, allungando la durata del periodo in cui godiamo di salute e vitalità.

Lo sviluppo di questo genere di farmaci non sarà facile. Un problema è la mancanza di un modo affidabile per misurare il tasso di invecchiamento degli esseri umani, che permetta di verificare l'efficacia dei farmaci candidati senza dover condurre test di lunghezza impraticabile. D'altra parte vale senz'altro la pena di fare ogni sforzo per trovare medicinali sicuri contro l'età, anche se poi servissero solo a promuovere un invecchiamento in buona salute, a prescindere dall'aumento della longevità. Chi l'avrebbe detto che una provetta di polvere e sporcizia raccattata da terra quasi cinquant'anni fa sarebbe diventata un terreno di ricerca così fertile, che potrebbe arrivare a darci diversi anni di buona vita in più? ■

PER APPROFONDIRE

TOR Signaling in Growth and Metabolism. Stephan Wullschleger e altri, in «Cell», Vol. 124, N. 3, pp. 471–484; 10 febbraio 2006. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16469695.**

Growth and Aging: A Common Molecular Mechanism. Mikhail V. Blagosklonny e Michael N. Hall, in «Aging», Vol. 1, N. 4, pp. 357–362; 20 aprile 2009. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20157523.**

Rapamycin Fed Late in Life Extends Lifespan in Genetically Heterogeneous Mice. David E. Harrison e altri, in «Nature», Vol. 460, pp. 392–395; 16 luglio 2009.

Aging and TOR: Interwoven in the Fabric of Life. Zelton Dave Sharp , in«Cellular and Molecular Life Sciences», Vol. 68, N. 4, pp. 587–597; febbraio 2011. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20960025.**

ANTROPOLOGIA

Un'idea sbagliata sulle origini dell'uomo

Homo sapiens è emerso in una sola tappa: la modernità dell'aspetto fisico non ha preceduto quella del comportamento

di John J. Shea

Gli archeologi hanno creduto per decenni che i comportamenti di tipo moderno fossero emersi in *Homo sapiens* decine di migliaia di anni dopo la comparsa della nostra specie. Benché si discutesse se il processo fosse stato graduale o rapido, tutti concordavano sul fatto che gli *H. sapiens* di un tempo fossero assai diversi da noi. Non sarebbero stati «moderni in senso comportamentale»: vale a dire che non usavano abitualmente forme d'arte, simboli e rituali; non raccoglievano sistematicamente piccoli animali, pesci, molluschi e altri cibi difficili da procurare; e non usavano tecnologie complesse. Trappole, reti, armi da getto e imbarcazioni erano loro ignote.

Gli esseri umani premoderni – spesso detti *Homo sapiens* arcaici – sarebbero vissuti in gruppi piccoli e indifesi di individui strettamente imparentati. I componenti di quei gruppi sarebbero stati assai più esposti alle insidie dell'ambiente degli esseri umani moderni. Per dirla con Thomas Hobbes, la loro vita sarebbe stata «solitaria, ingrata, brutale e corta». In pratica, il classico stereotipo dell'uomo delle caverne. Oggi però i dati archeologici mostrano che alcuni comportamenti associati agli esseri umani moderni, e soprattutto la capacità di un'ampia variazione comportamentale, esistevano già in popoli vissuti molto tempo fa, in particolare in Africa. E alcuni archeologi sono sempre più convinti che nel recente passato della nostra specie non ci sia stato nessun travolgente passaggio a una «modernità comportamentale».

Come sostenne già un quarto di secolo fa Misia Landau nel suo saggio *Human Evolution as Narrative*, le spiegazioni narrative tipiche delle tradizioni prescientifiche hanno portato a lungo gli scienziati a vedere i passaggi cruciali dell'evoluzione umana come una serie di trasformazioni di tipo olistico. L'idea di una transizione da umani arcaici a umani moderni nasce, in parte, proprio da questa tradizione narrativa. Così però si ottiene una storia piacevole da raccontare ma non un quadro realistico di riferimento per comprendere il corso, complesso e soggetto a ogni tipo di contingenze, seguito dall'evoluzione umana. La maggior parte dei mutamenti evolutivi sono eventi relativamente minori, con conseguenze incrementali nell'arco di migliaia di generazioni.

Per capire meglio la preistoria umana, io sostengo un approccio diverso, centrato sulla variabilità comportamentale. Questo tratto, facilmente osservabile fra gli esseri umani recenti, si sta facendo più evidente anche nella documentazione archeologica dei primi *H. sapiens*. In luoghi diversi e in tempi diversi, le genti preistoriche vivevano in modi diversi. Dobbiamo cercare e spiegare queste differenze perché nell'evoluzione ciò che conta sono le differenza. Pensare la variabilità comportamentale della preistoria umana

John J. Shea è professore di antropologia alla Stony Brook University e research associate al Turkana Basin Institute, in Kenya. Ha ottenuto il Ph.D. presso la Harvard University nel 1991 e ha svolto ricerche in Israele, Giordania, Etiopia, Eritrea, Kenya e Tanzania.
Questo articolo è stato originariamente pubblicato sul numero di marzo-aprile 2011 di «American Scientist».

in termini di varietà delle strategie adattative offre un punto di vista interessante per spiegarle. Ma prima dobbiamo scartare un'idea scorretta e superata sull'evoluzione umana: che gli *H. sapiens* preistorici possano essere divisi in «arcaici» e «moderni».

Nascita di un'idea

L'idea di una contrapposizione tra esseri umani arcaici e moderni si sviluppò quando la ricerca archeologica si allargò dall'Europa ad altre regioni del mondo. Lo studio dei popoli preistorici ebbe origine in Europa nel XIX secolo; intorno agli anni venti del secolo successivo, le scoperte avvenute in molti siti archeologici europei avevano ormai condotto a una visione condivisa del Paleolitico, oggi individuato tra circa 2,6 milioni di anni fa e 12.000 anni fa.

Gli archeologi divisero questo periodo in tre fasi: Paleolitico inferiore (il più antico), medio e superiore (il più recente). Assortimenti distinti di attrezzi di pietra – detti «industrie» – caratterizzavano ciascuna fase. Gli archeologi identificavano queste industrie grazie alla presenza di artefatti considerati diagnostici, come le asce a mano acheuleane (Paleolitico inferiore), i raschiatoi musteriani realizzati con schegge levalloisiane (Paleolitico medio), le lame prismatiche aurignaziane e le punte di zagaglia di corno di cervo intagliato (Paleolitico superiore). Il fatto che gli attrezzi provenienti dalle industrie più recenti fossero più leggeri, più piccoli e più intensamente modificati fece pensare che nella sequenza paleolitica vi fosse stata una tendenza verso una crescente raffinatezza tecnologica e culturale. Le industrie europee del Paleolitico superiore erano associate esclusivamente con fossili di *H. sapiens*, mentre quelle del Paleolitico inferiore e medio erano associate con ominini più antichi (*Homo heidelbergensis* e *H. neanderthalensis*). Ciò diede sostegno all'idea che vi fossero importanti differenze evolutive tra *H. sapiens* moderno e i precedenti ominini arcaici.

I contesti del primo Paleolitico superiore in Europa conservano evidenze di produzione di lame prismatiche, attrezzi d'osso intagliato, armi da getto, focolari complessi, ornamenti personali, arte, commercio a lungo raggio, riti funebri, architettura, immagazzinamento del cibo e caccia specializzata a prede di grossa taglia, insieme allo sfruttamento sistematico di prede di taglia minore e risorse acquatiche. Inoltre la variabilità di questi comportamenti nell'ambito del Paleolitico superiore è assai più grande di quella che si riscontra nei periodi precedenti.

Gli attrezzi litici e gli altri artefatti del Paleolitico inferiore e medio trovati in Europa e altrove variano all'interno di una ristretta gamma di forme semplici. Con attrezzature e motivazioni adeguate, i *flintknapper* [fabbricanti di attrezzi in pietra; a volte si adotta, in italiano, il termine «scheggiatore», *N.d.t.*] dei giorni nostri sono in grado di produrne copie nel giro di qualche minuto, e a volte in pochi secondi. Molte delle differenze tra i vari artefatti del Paleolitico inferiore e medio riflettono semplicemente variazioni nel tipo di roccia usata e nel grado di raffilatura subito dai singoli attrezzi. Le differenze geografiche e cronologiche tra gli attrezzi del Paleolitico inferiore e medio riguardano per la maggior parte differenze nelle frequenze relative di questi tipi di semplici attrezzi. In gran parte dell'Europa, dell'Africa e dell'Asia si ritrova quasi la stessa gamma di tipi di attrezzi litici risalenti al Paleolitico inferiore e medio.

In Europa, le differenze tra la documentazione del Paleolitico inferiore e medio da un lato e quella del Paleolitico superiore dall'altro sono così nette che a partire dagli anni settanta gli studiosi della preistoria hanno preso a parlare della transizione fra i due periodi come della «rivoluzione del Paleolitico superiore». A questo fenomeno, di carattere regionale, è stato dato un carattere globale nei tardi anni ottanta. Questa rivoluzione veniva dipinta come uno spartiacque che separava gli esseri umani moderni recenti dai loro predecessori arcaici e da altri ominini, come *Homo neanderthalensis*. Le cause di questa presunta trasformazione sono state animatamente discusse. Scienziati come Richard Klein hanno attribuito i cambiamenti al polimorfismo FOXP2, il cosiddetto gene del linguaggio, che però poi è stato scoperto anche nel DNA dei Neanderthal. Molti ricercatori continuano a vedere nel comportamento simbolico un elemento cruciale della modernità comportamentale. Eppure il ritrovamento di pigmenti minerali, perle perforate, sepolture e variazioni stilistiche negli artefatti associati ai Neanderthal mette in discussione l'ipotesi che l'uso dei simboli sia una qualità di modernità comportamentale tipica ed esclusiva di *H. sapiens*.

La rivoluzione mancante

In effetti, prove fossili tali da mettere in pericolo l'ipotesi della rivoluzione del Paleolitico superiore erano già emerse molti decenni fa. Negli anni venti e trenta, più o meno nello stesso periodo in cui si sviluppava una cornice interpretativa del Paleolitico, alcuni archeologi di formazione europea cominciavano a cercare fossili e artefatti umani in Medio Oriente, Africa e Asia; si aspettavano che la documentazione fossile europea funzionasse come modello globale dell'evoluzione umana, e usarono la cornice generale del Paleolitico europeo per organizzare le osservazioni che facevano altrove. Presto però, quando si scoprirono resti di *H. sapiens* fuori dall'Europa in associazione con artefatti del Paleolitico inferiore e medio, scoprirono una discrepanza tra le loro aspettative e la realtà. Gli archeologi presero così a ritenere che questi resti risalissero a periodi immediatamente precedenti la rivoluzione del Paleolitico superiore. Nei fatti però queste scoperte, insieme ad altri e più recenti ritrovamenti, mettono in discussione la nozione stessa che una tale rivoluzione sia mai avvenuta.

IN BREVE

Sulla base dei fossili rinvenuti in Europa, gli archeologi hanno a lungo ritenuto che in qualche momento della loro storia gli *Homo sapiens* si fossero trasformati da «esseri umani arcaici» in «esseri umani moderni», capaci di usare simboli, praticare riti e inventare utensili più complicati.
L'ipotesi di una rivoluzione del Paleolitico, di cui sono state discusse varie possibili cause, discende in realtà dall'applicazione di un fenomeno esclusivamente regionale alla scala globale, ed è legata a una tradizione di spiegazioni narrative di tipo prescientifico.
Scoperte più recenti, effettuate soprattutto in Africa, hanno prodotto prove di comportamenti moderni in tempi assai più antichi.
L'analisi delle industrie litiche, inoltre, sta offrendo importanti prove di uno schema persistente di variabilità comportamentale.

Una squadra di scavatori al lavoro per trasportare dei sedimenti fino alla zona in cui saranno vagliati, nella formazione Kibish della bassa valla del fiume Omo in Etiopia. Dal sito sono stati recuperati fossili di *Homo sapiens*, ossa animali e utensili in pietra risalenti a 195.000 anni fa.

In Europa, i fossili più antichi di *H. sapiens* risalgono ad appena 35.000 anni fa. Ma gli studi delle variazioni genetiche fra gli esseri umani contemporanei fanno pensare che la nostra specie sia emersa in Africa già 200.000 anni fa. Sono stati trovati fossili di *H. sapiens* in contesti datati fra i 165.000 e i 195.000 anni fa in Etiopia, nella bassa valle dell'Omo e nella media valle dell'Awash. I dati disponibili mostrano chiaramente che gli antichi esseri umani si dispersero fuori dall'Africa, dirigendosi verso l'Asia meridionale, più di 40.000 anni fa. Analoghi fossili umani di aspetto moderno ritrovati nelle grotte di Skhul e di Qafzeh in Israele sono datati fra gli 80.000 e i 120.000 anni fa. Fossili di *H. sapiens* risalenti a 100.000 anni fa sono stati scoperti nella grotta di Zhiren in Cina. Nulla di simile alla «rivoluzione umana» precede la prima apparizione di *H. sapiens* in nessuna di queste regioni. E tutti questi fossili sono stati ritrovati insieme a industrie di fabbricazione di utensili in pietra del Paleolitico inferiore o medio.

Vi sono differenze tra gli scheletri di questi antichi *H. sapiens* e quelli europei del Paleolitico superiore. Quelle meglio documentate sono relative a variazioni nella forma del cranio. Tuttavia abbiamo appena cominciato a capire le basi genetiche e comportamentali delle variazioni del cranio umano, e non ha senso tracciare grandi distinzioni evolutive fra esseri umani sulla base della forma del cranio, a meno che non si riesca a capire quali siano le fonti sottostanti della variabilità craniale. Fra questi crani non c'è alcuna semplice linea di demarcazione morfologica. La maggior parte dei fossili presenta caratteri «primitivi» (ancestrali) uniti insieme a caratteri «derivati» (evolutisi più di recente). Anche se gli antropologi fisici suddividessero gli esseri umani preistorici in gruppi arcaici e moderni, sarebbe sciocco invocare queste differenze come spiegazione senza che sia noto il modo in cui specifiche differenze scheletriche sono legate a determinati specifici aspetti del comportamento preservati nella documentazione fossile.

I più antichi fossili di *H. sapiens* sono associati in Africa e in Asia a evidenze «precoci», cioè inaspettatamente antiche, di comportamenti moderni come quelli riscontrati nel Paleolitico superiore europeo, quali lo sfruttamento intensivo di pesci e molluschi, la produzione di armi da getto complesse, l'uso di simboli in forma di pigmenti minerali e conchiglie perforate, e persino rare sepolture con corredi funerari. Ma, come hanno sostenuto Erella Hovers e Anna Belfer-Cohen della Hebrew University di Gerusalemme, molte di queste prove appaiono nella documentazione archeologica a intermittenza. Indizi di uno o più di questi comportamenti moderni compaiono in qualche sito o per qualche migliaio di anni in una regione o nell'altra e poi scompaiono. Se la modernità comportamentale fosse sia una condizione derivata sia uno sviluppo cruciale della storia umana, non ci si aspetterebbe che sparisca per lunghi periodi dalla storia evolutiva della nostra specie.

Per me, l'aspetto più sorprendente del dibattito su quando *H. sapiens* sia divenuto umano è che non sia mai stata messa alla prova l'ipotesi di fondo secondo cui vi sarebbero significative differenze comportamentali tra i primissimi membri della nostra specie e quelli più recenti. Dato che la modernità è una caratteristica tipologica, mettere alla prova questa ipotesi non è facile. O uno è moderno, in termini comportamentali, o non lo è.

E poi non tutti i gruppi classificati come moderni nel comportamento hanno lasciato prove chiare e prive di ambiguità di questa modernità in ogni tempo e in ogni contesto. Per esempio attività opportunistiche e circoscritte di lavorazione di sassi e ciottoli di fiume da parte di esseri umani dei giorni nostri danno spesso origine a utensili litici indistinguibili dagli utensili ottenuti per scheggiatura da *Homo habilis* o da *Homo erectus*. Questa somiglianza, però, riflette la natura delle strategie di fabbricazione di utensili, delle tecniche e delle materie prime, non l'uguaglianza, in termini evolutivi, di coloro che li hanno fabbricati. La documentazione archeologica, quindi, è piena di possibili risultati ingannevolmente negativi sulla modernità comportamentale umana nel corso della preistoria.

La questione destò il mio interesse nel 2002, quando ero impegnato nello scavo di siti archeologici risalenti a 195.000 anni fa associati a fossili precoci di *H. sapiens* nella formazione Kibish della bassa valle del fiume Omo, in Etiopia. Io sono un archeologo, ma anche un esperto flintknapper; e mi sembrava che gli attrezzi litici di Omo Kibish non avessero assolutamente nulla di arcaico o primitivo. Gli utensili dell'Omo Kibish mostravano che chi li aveva fabbricati era dotato di grande versatilità nel lavorare in modo efficace un'ampia gamma di rocce. La cosa mi diede da pensare: forse ci eravamo posti le domande sbagliate sul comportamento dei primi esseri umani?

Cortesia dell'autore

Un modo migliore

Documentare e analizzare la variabilità comportamentale è un approccio teorico allo studio delle differenze fra i popoli preistorici più solido della ricerca della transizione alla modernità comportamentale. Quasi tutto ciò che facciamo noi esseri umani lo facciamo in parecchi modi diversi, e fra l'uno e l'altro di questi modi si possono identificare certe differenze. Come ha sostenuto Richard Potts nel 1996, la capacità della nostra specie di dar luogo ad ampie diversità comportamentali sembra aver avuto una derivazione unica. Nessun altro animale ha un repertorio comportamentale vasto quanto quello di *H. sapiens*. E la variabilità può essere studiata in modo empirico, quantitativamente, e con meno problemi di quelli che si incontrano quando si cerca di classificare le genti della preistoria in termini di modernità.

Un modo per misurare la variabilità comportamentale dei primi *H. sapiens* è confrontarne le tecnologie litiche. Gli attrezzi di pietra sono quasi indistruttibili, e si ritrovano dovunque abbiano vissuto degli ominini nel Pleistocene. Gli attrezzi in pietra possono non dirci tutto ciò che vorremmo sul comportamento preistorico umano, ma non sono meno soggetti alle pressioni selettive che generano variazioni di altri tipi di evidenze archeologiche. Gli artefatti litici prodotti dagli esseri umani recenti sono più complessi e variabili di quelli associati ai primi ominini. I primi attrezzi in pietra del Paleolitico sono più complessi e variabili di quelli fatti da primati non umani. Quindi vi sono buone ragioni per attendersi che l'analisi di questi strumenti produca un segnale valido della capacità di variazione comportamentale dei primi *H. sapiens*. L'Africa orientale è un posto particolarmente buono dove confrontare le prime tecnologie litiche di *H. sapiens* con le successive, perché preserva la più lunga documentazione archeologica continua della nostra specie. Restringere il confronto all'Africa orientale riduce al minimo gli effetti di complicazione dei vincoli geografici sulla tecnologia degli utensili in pietra.

Dividere i *sapiens* in «arcaici» e «moderni» riflette un modo gerarchico di pensare la variabilità umana

Una delle maniere più diffuse per descrivere le variazioni fra le industrie di utensili in pietra è la griglia di riferimento proposta nel 1969 dall'archeologo britannico Grahame Clark, che classifica la variabilità delle tecnologie litiche in cinque modelli di tecnologia dei nuclei di lavorazione (*si veda il box a p. 55*). Si ritiene che le variazioni nella tecnologia dei nuclei riflettano le differenze negli adattamenti ecologici. La griglia di Clark è uno strumento grezzo, ma se ne ottiene un registro abbastanza sensibile della variabilità tecnologica semplicemente annotando quali di queste modalità sono rappresentate in ciascuna delle serie di un assortimento di attrezzi litici. Quando la si applica ai siti dell'Africa orientale, con datazione compresa tra i 284.000 e i 6000 anni fa, emerge un'immagine più complessa della vita preistorica in quelle zone. Quel che si vede non è un costante accumulo di nuove tecnologie dei nuclei a partire dalla prima apparizione della nostra specie, né qualcosa che assomigli a una «rivoluzione». Si vede invece uno schema persistente di ampia variabilità tecnologica.

Che cosa significa questa variabilità? La nostra comprensione della tecnologia litica è ancora tutt'altro che perfetta, ma ne sappiamo abbastanza per proporre qualche interpretazione plausibile.

La riduzione di nuclei ottenuti da ciottoli (la modalità 1, nello schema di Clark), in cui il fabbricante degli attrezzi stacca opportunisticamente schegge da sassi o ciottoli arrotondati, è il modo più semplice per ottenere un margine tagliente dalla pietra. Ancora oggi si fabbricano così attrezzi di pietra nelle zone rurali dell'Africa orientale. La sua ubiquità negli assortimenti di manufatti trovati nei siti archeologici riflette probabilmente una strategia stabile di risposta immediata ai bisogni imprevisti di bordi taglienti.

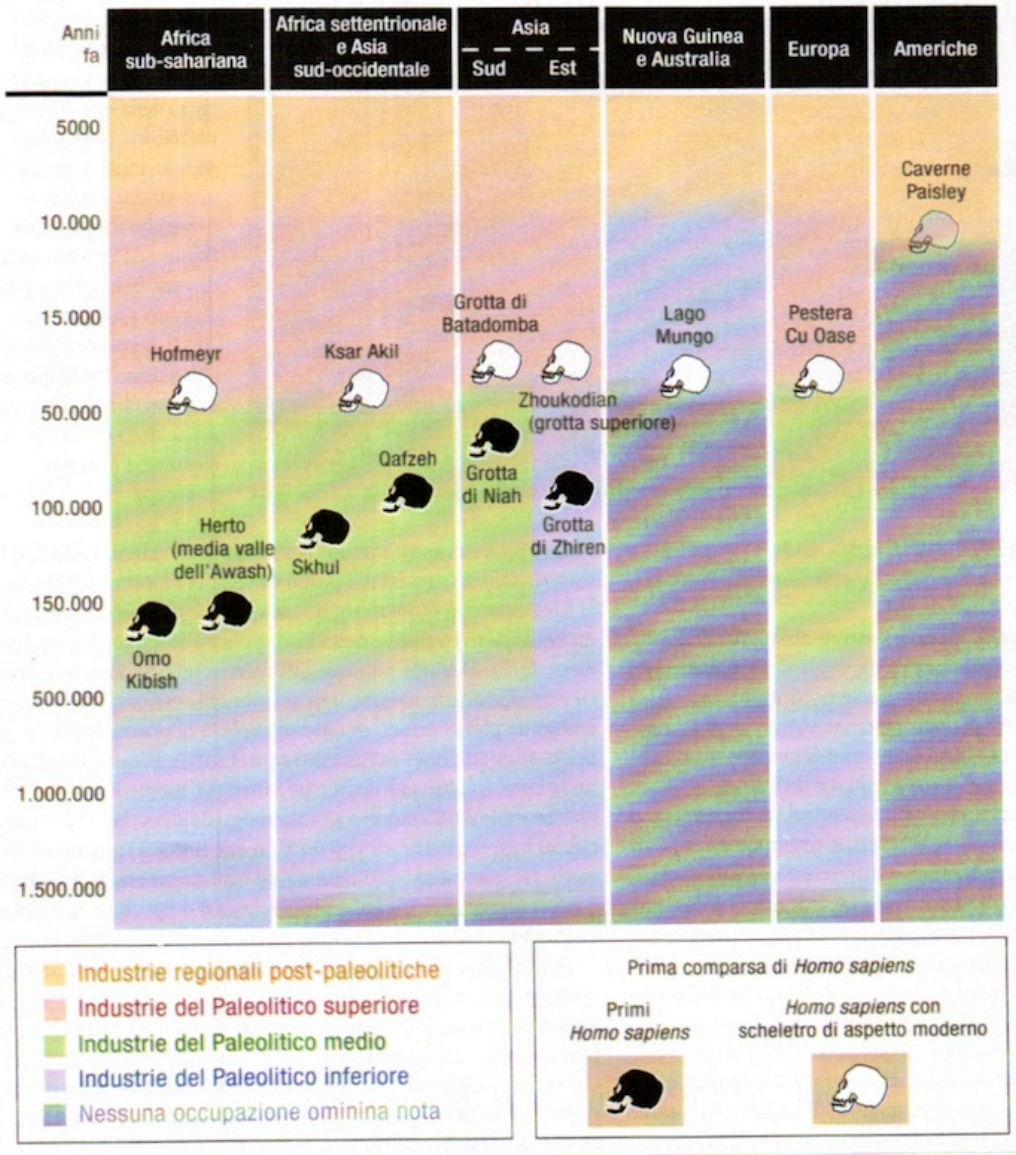
Si ritiene che gli attrezzi costituiti da grossi nuclei bifacciali (modalità 2) abbiano avuto una duplice finalità. I loro lati taglienti, lunghi e robusti, li rendevano utili nei lavori pesanti, come la lavorazione del legno o la macellazione delle carcasse di grossi animali. Le schegge più sottili staccate dai nuclei bifacciali potevano essere usate per lavori di taglio più fini o ritoccate a dare forme più specializzate. In contesti archeologici recenti i grossi utensili bifacciali da taglio sono correlati a genti che cambiavano spesso residenza, mentre i nuclei a ciottolo fabbricati per scopi occasionali sono correlati a periodi di occupazione più prolungati. Il forte rilievo topografico e l'ampia variabilità stagionale delle piogge rendono la stabilità residenziale piuttosto difficile persino per i gruppi recenti dediti alla pastorizia dell'Africa orientale. La persistenza di questa tecnologia potrebbe riflettere una mobilità residenziale relativamente alta fra i preistorici abitanti dell'Africa orientale.

I correlati comportamentali della tecnologia dei nuclei preparati di tipo Levallois (modalità 3) sono meno chiari, se non altro perché il termine raccoglie un gran numero di diverse strategie di scheggiatura dei nuclei. Alcuni vedono nei nuclei di tipo Levallois un riflesso dello sforzo del fabbricante di ottenere utensili della forma desiderata, o schegge relativamente larghe e sottili, grazie alle quali ricavare bordi taglienti con grande efficienza. Queste ipotesi non si escludono a vicenda, e ciascuna di esse contribuisce probabilmente a spiegare come mai gli esseri umani abbiano realizzato questo tipo di nuclei nell'Africa orientale per un periodo di tempo assai lungo.

La tecnologia dei nuclei a lame prismatiche (modalità 4) comporta il distacco, l'una dopo l'altra, di una serie di lunghe schegge rettangolari da un nucleo di forma conica. L'ipotesi più ampiamente ripetuta sulla preferenza per la produzione di lame prismatiche è che rispetto ad altre strategie di scheggiatura questa dia luogo a una maggior quantità di bordi taglienti per unità di massa della pietra. Recenti esperimenti, però, hanno mostrato che questa ipotesi è sbagliata. Un motivo assai più probabile per preferire questa strategia è che la coerenza morfologica delle lame prodotte rende più semplice applicarvi un manico. Attaccare un manico a una lama di pietra ne aumenta grandemente il braccio di leva e l'efficienza meccanica, ma d'altra parte restringe la gamma dei possibili movimenti per l'utensile e ne limita la porzione passibile di raffilatura. L'andare e venire della tecnologia dei nuclei a lama nell'Africa orientale riflette probabilmente le complesse interazioni di queste considerazioni strategiche.

I resti della tecnologia dei microliti geometrici (modalità 5) sono preservati nella maggior parte degli assortimenti antichi e recenti della documentazione dell'Africa orientale. I microliti geometrici sono piccoli utensili realizzati per segmentazione di lame o schegge, che poi sono sagomate a triangolo, rettangolo, mezzaluna e altre forme geometriche per smussatura di uno o più bordi. Troppo piccoli per essere utilizzabili a mano libera, erano quasi certamente usati come attrezzi immanicati. È facile infatti unirli a un manico, e quindi sono adatti a essere usati come armature per proiettili, come attrezzi per la lavorazione del legno e come ausili per la preparazione del cibo.

Fossili umani e strumenti litici



I reali rapporti tra i fossili di *Homo sapiens* e le industrie di fabbricazione di strumenti litici del Paleolitico sono assai più complessi di quanto suggeriva la documentazione archeologica europea. La prima comparsa di esseri umani dallo scheletro di tipo moderno in Europa proprio all'inizio della cosiddetta «rivoluzione» del Paleolitico superiore è un fenomeno esclusivamente limitato al Vecchio continente. In Africa e altrove, gli scheletri di *Homo sapiens* di aspetto moderno compaiono inizialmente associati ad attrezzi litici del Paleolitico medio o anche inferiore. (I crani nell'illustrazione qui a fianco rappresentano fossili umani, salvo che per i resti delle caverne Paisley, dove è stato rinvenuto soltanto un coprolito umano.)

Gli archeologi considerano la tecnologia degli utensili a microliti come una strategia per ottimizzare la versatilità e ridurre al minimo i rischi. Le tecnologie microlitiche compaiono inizialmente e proliferano fra le popolazioni umane dell'Africa e dell'Eurasia da circa 50.000 a circa 10.000 anni fa. Si tratta di un periodo di ipervariabilità climatica, e pare abbastanza sensato che gli esseri umani dell'epoca abbiano escogitato utensili in pietra versatili e trasportabili. Se, per esempio, i cambiamenti climatici imponevano a una popolazione di passare di frequente dalla caccia alla raccolta di piante erbacee e viceversa, l'uso di frecce con microliti come punte e di falci con bordo tagliente fatto di microliti avrebbe permesso di compiere questi passaggi nel modo più efficiente, senza grossi cambiamenti di strategia tecnologica.

Dato che sono piccoli, gli attrezzi microlitici mantengono alti rapporti tra bordo tagliente e massa. Ciò vuol dire che se i mutamenti del clima imponevano un aumento delle migrazioni stagionali gli individui che trasportavano i microliti avrebbero portato con sé il massimo di bordi taglienti per unità di massa della pietra. La variabilità dell'uso della tecnologia microlitica nell'Africa orientale riflette probabilmente risposte strategiche all'imprevedibilità ambientale insieme allo sforzo di rispondere all'accresciuto rischio di sussistenza ottimizzando la versatilità della tecnologia degli attrezzi in pietra.

Che cosa risulta dal confronto tra le tecnologie dei nuclei precoci e successive in Africa orientale e le variazioni tra gli esseri umani recenti che si valgono di utensili in pietra? La gamma di variabilità nella tecnologia degli utensili litici degli esseri umani recenti è maggiore di quella della campionatura dell'Africa orientale. Tutte e cinque le modalità di Clark possono essere rinvenute nella tecnologia litica degli esseri umani recenti. Alcune tecnologie, però, non sono rappresentate nel campione africano. Più di 30.000 anni fa in Australia, per esempio, e più tardi anche altrove, la gente

Queste punte di pietra scoperte nell'Omo Kibish, in Etiopia, risalenti a circa 104.000 anni fa, appaiono lavorate con tecniche che si è a lungo pensato fossero state sviluppate nel corso della «rivoluzione» paleolitica, negli ultimi 45.000 anni. La punta rossa (*a destra*) si è spezzata in seguito a una grossa frattura da impatto, forse dovuta all'uso come punta da getto. Ciò fa pensare che *H. sapiens* in Africa abbia usato complesse armi da getto oltre 60.000 anni prima della comparsa di una tecnologia analoga in Europa.

prese a levigare i bordi degli utensili in pietra. La levigatura riduce l'attrito durante il lavoro, e rende più efficiente l'uso e la raffilatura degli utensili da taglio.

Nel Nuovo Mondo i flintknapper ancestrali dei nativi americani svilupparono una vasta gamma di tecnologie del nucleo bifacciale fondamentalmente differenti da quelle riscontrate nell'Africa orientale, usando questi utensili in contesti che vanno dagli accampamenti dei cacciatori-raccoglitori delle grandi pianure alle città-Stato della Mesoamerica come Teotihuacan. Le differenze nelle recenti tecnologie di fabbricazione degli utensili in pietra riflettono la variabilità delle strategie adattative. Nessun antropologo sano di mente attribuirebbe questa variabilità a differenze evolutive tra gli esseri umani recenti. Ma se questo genere di spiegazioni ha così poco senso per il presente, quale valore può mai avere per spiegare la passata variabilità comportamentale in *Homo sapiens*?

La documentazione litica qui riesaminata è una sfida all'ipotesi che in Africa orientale vi fossero significative differenze di comportamento tra i primissimi membri della nostra specie e quelli più recenti. Come è ovvio, la variabilità comportamentale umana è assai più ampia di quella che può riflettersi negli utensili in pietra. Questa centralità della variabilità potrà rafforzarsi se e quando sarà sostenuta da più dettagliate analisi degli utensili in pietra e da altre prove archeologiche.

Un mito da abbandonare

In questi risultati si può vedere solo un altro caso di comportamento moderno precoce da parte dei primi *H. sapiens* in Africa, ma ritengo sia il caso di trarne una lezione più vasta. L'ipotesi che vi siano stati esseri umani di aspetto moderno ma dalle capacità comportamentali significativamente diverse dalle nostre non è sostenuta né da principi di uniformità (che basano la spiegazione del passato sullo studio del presente), né dalla teoria dell'evoluzione, né dalla documentazione archeologica. Non ci sono popolazioni note di *H. sapiens* le cui capacità di variazione comportamentale siano soggette a vincoli biologici. Generazioni di antropologi hanno setacciato invano il pianeta in cerca di questo tipo di popoli primitivi e non sono mai riusciti a trovarli. La sola possibile interpretazione di questo fallimento è che di esseri umani così non ce ne siano.

E neppure ci sono ragioni per pensare che siano esistiti in passato *H. sapiens* arcaici dal punto di vista comportamentale. Se mai ci fosse stato un numero significativo di individui *H. sapiens* affetti da limitazioni cognitive della loro capacità di variabilità comportamentale, la selezione naturale attraverso competizione intraspecifica e predazione li avrebbe implacabilmente estirpati. Nello spietato ambiente pleistocenico in cui si è evoluta la nostra specie, la pena per la stupidità era l'isolamento riproduttivo, e lupi e leoni ne erano la cura. In altre parole: niente villaggio, niente idiota del villaggio. Se mai hanno davvero avuto luogo degli eventi del genere, in cui, su basi cognitive, «il vincitore prende tutto» e l'altro sparisce del tutto, ciò è accaduto probabilmente tra i primi ominini (*Homo ergaster* ed *erectus* o *Homo heidelbergiensis*) o nel corso del differenziamento evolutivo della nostra specie a partire da questi antenati.

Suddividere *H. sapiens* in due categorie, moderno e arcaico, o premoderno, e invocare l'evoluzione della modernità comportamentale per spiegare la differenza non è mai stata una buona idea. Come il concetto ormai screditato di razza, riflette un modo gerarchico e tipologico di pensare la variabilità umana per cui non c'è spazio in un'antropologia veramente scientifica. Si può dire, anzi, che il concetto di modernità comportamentale sia peggio che sbagliato, perché costituisce un ostacolo alla comprensione. Tempo, energia e finanziamenti alla ricerca che avrebbero potuto essere impiegati nello studio delle fonti della variabilità di particolari strategie comportamentali e nel verificare le relative ipotesi sono stati sprecati a discutere di modernità comportamentale.

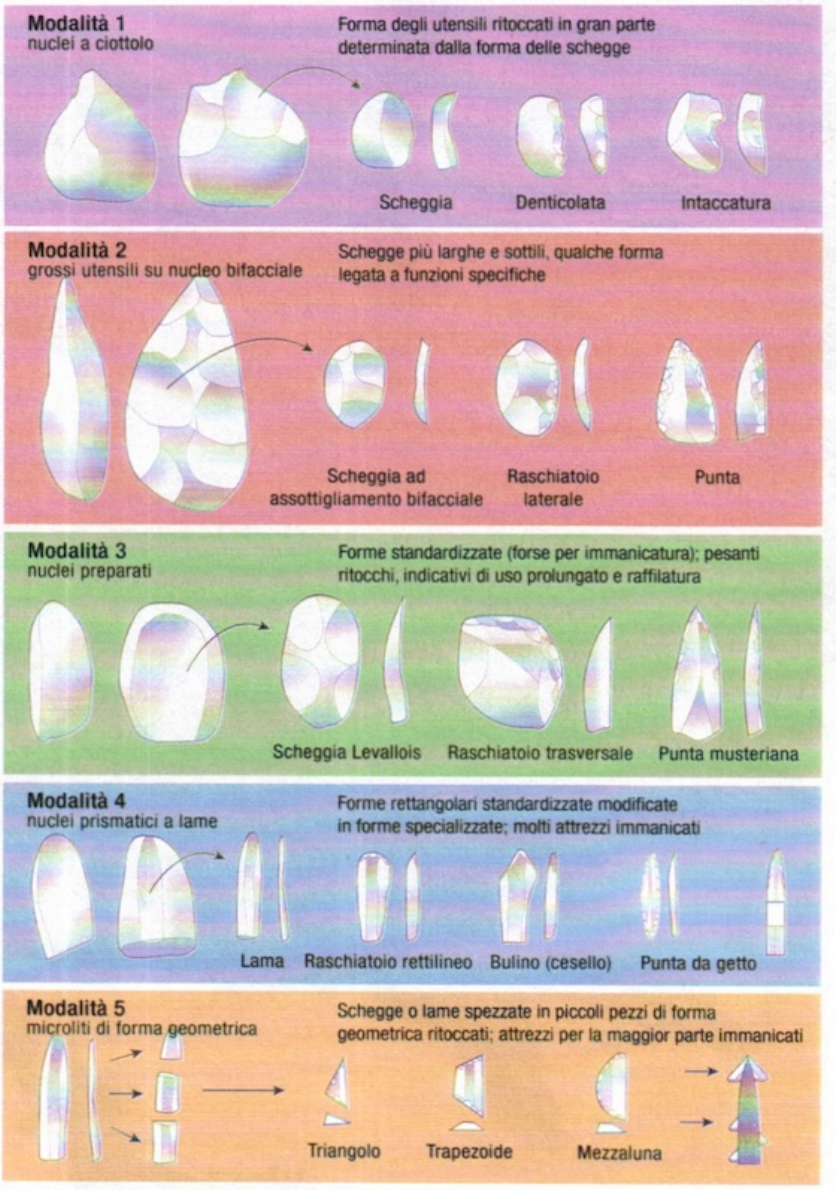
Gli antropologi hanno già dovuto affrontare questo tipo di errore. Scrivendo all'inizio del XX secolo, l'etnologo Franz Boas si scagliò contro gli antropologi evoluzionistici che ordinavano le società umane viventi lungo una scala evolutiva, da quelle primitive a quelle avanzate. I suoi argomenti trovarono un'entusiastica accoglienza tra i suoi colleghi e restano, ancora ai nostri giorni, tra i principi fondamentali dell'antropologia. Un analogo cambiamento è necessario nell'archeologia delle origini dell'uomo.

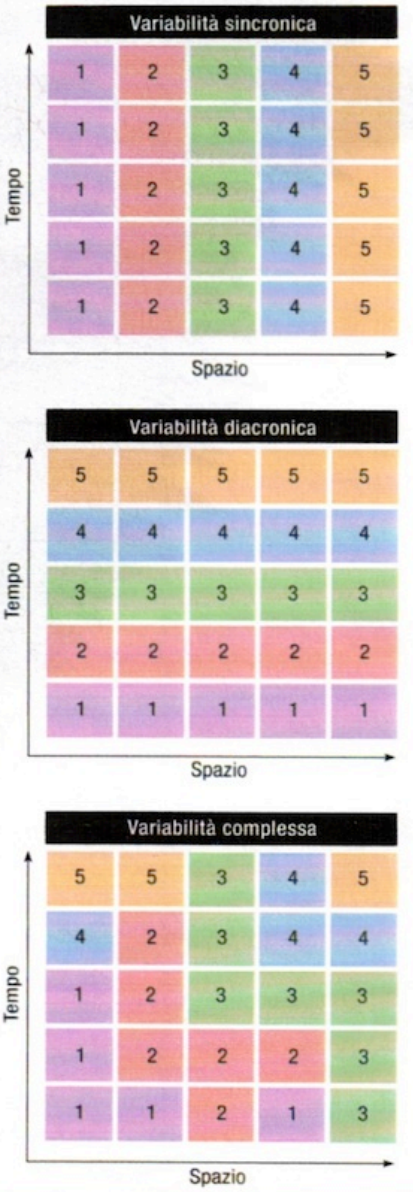
Dobbiamo smettere di guardare agli artefatti come espressione di un qualche stato evolutivo e cominciare a vederli come prodotti secondari di una strategia comportamentale. Le differenze che scopriremo fra queste strategie ci condurranno a farci domande di ti-

Cortesia dell'autore

Una classificazione delle industrie litiche

Grahame Clark ha classificato le industrie di utensili litici a seconda delle modalità con cui le schegge erano staccate dai nuclei e poi modificate. Questa cornice può servire a cogliere la variabilità negli adattamenti ecologici delle genti preistoriche. La variabilità sincronica si ha quando le differenze tra una regione e l'altra durano a lungo. La variabilità diacronica quando le differenze fra un periodo temporale e l'altro sono più pronunciate di quelle fra una regione e l'altra nello stesso periodo. È una variabilità complessa coinvolge la sovrapposizione di schemi sia sincronici sia diacronici.





po molto diverso da quelle che ci siamo posti finora. Per esempio, è possibile che circostanze ambientali analoghe stimolino gamme differenti di stabilità comportamentale? Vi sono differenze nella stabilità di particolari strategie comportamentali? Vi sono particolari strategie associate unicamente con determinate specie ominine e, nel caso, come mai?

Mettendo al centro dell'attenzione la variabilità comportamentale, gli archeologi faranno un passo in avanti verso un approccio più scientifico alla ricerca sulle origini umane. Il concetto di modernità comportamentale, invece, non ci porta da nessuna parte. ■

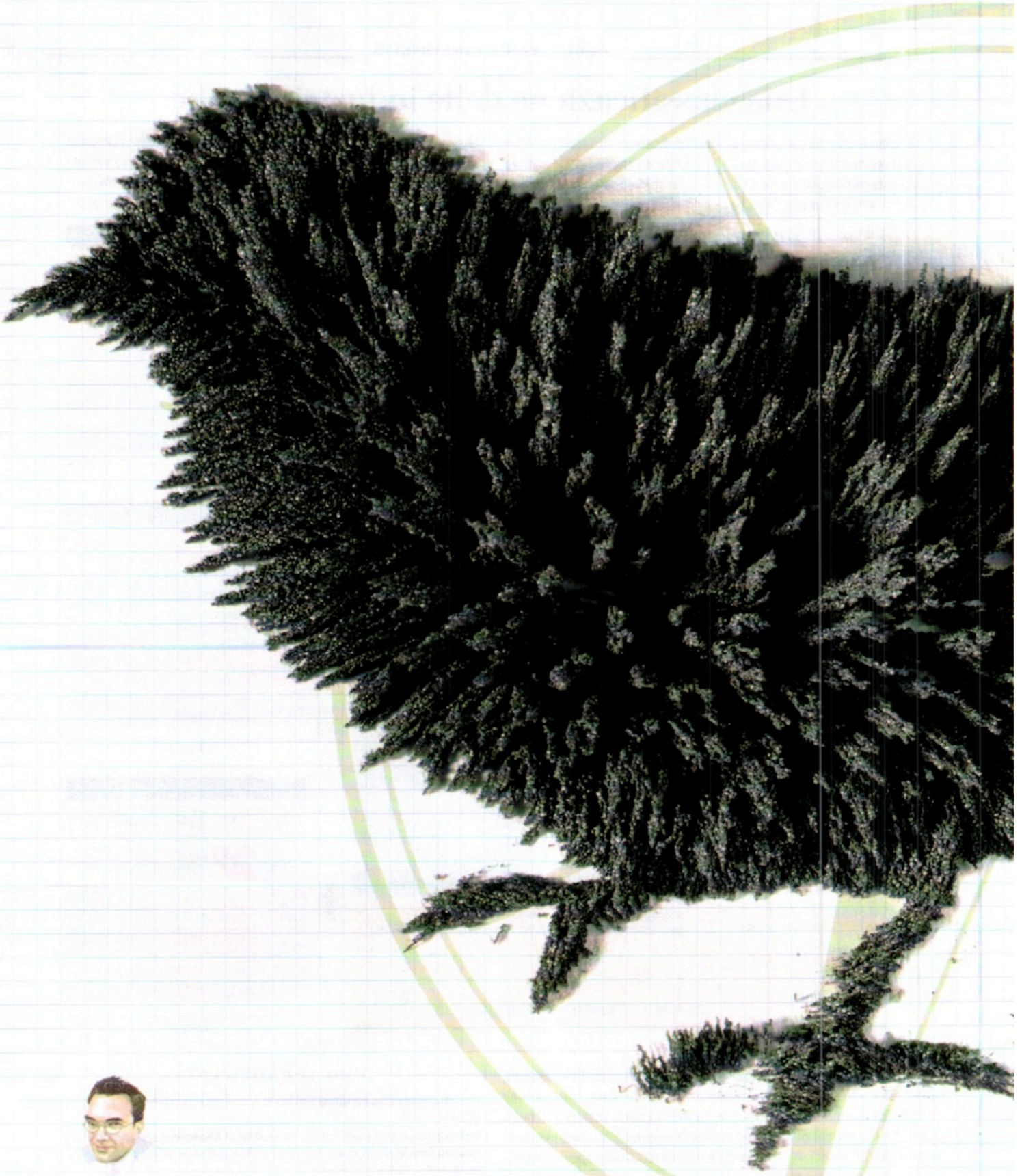
PER APPROFONDIRE

Human evolution as narrative. Landau M. L., in «American Scientist», n. 72, pp. 262-268, 1984.

Defining behavioral modernity in the context of Neandertal and anatomically modern human populations. Nowell A., in «Annual Review of Anthropology», n. 39, pp. 437-452, 2010.

Variability selection and hominid evolution. Potts R., in «Evolutionary Anthropology», Vol. 3, n. 7, pp. 81-96, 1998.

Homo sapiens is as Homo sapiens was: Behavioral variability versus «behavioral modernity» in Paleolithic archaeology. Shea J.J., in «Current Anthropology», Vol. 1, n. 52, pp. 1-35, 2011.



Davide Castelvecchi, giornalista, collabora con diverse testate tra cui «Scientific American».

Il senso della bussola

Molti animali si orientano grazie al campo geomagnetico, ma non è facile capire come facciano

di Davide Castelvecchi

Per Sabine Begall quei sei mesi devono essere sembrati interminabili. Ogni sera passata al computer, a guardare mucche al pascolo su foto da satellite. Su ciascuna immagine, scaricata da Google Earth, marcava le mucche una a una, per poi passare alla prossima immagine. Alla fine, però, con l'aiuto dei suoi collaboratori, Begall, zoologa all'Università di Duisburg-Essen, ha scoperto che i ruminanti avevano un segreto da svelare.

In media, le mucche si allineavano con una leggera preferenza verso l'asse nord-sud. Ma non puntavano verso il nord geografico, che avrebbero potuto identificare in base alla posizione del Sole. Invece, in qualche modo sapevano orientarsi verso il Polo Nord magnetico, che si trova centinaia di chilometri a sud di quello geografico, nel nord del Canada. Una seconda fase della ricerca ha trovato ulteriori indizi, mostrando che la tendenza dei bovini ad allinearsi verso il nord magnetico scompariva nelle vicinanze di tralicci dell'alta tensione, presumibilmente perché le onde elettromagnetiche oscuravano i deboli segnali provenienti dal pianeta.

Fino a pochi decenni fa, uno studio come quello di Begall sarebbero stato deriso. Era noto che la materia organica non rispondesse a deboli campi magnetici come quello della Terra, e che gli animali non fossero dotati di barrette magnetiche da usare come bussole. Dottrine come quelle settecentesche sul magnetismo animale di Franz Anton Mesmer, per il quale le creature sono animate da fluidi magnetici, erano state da tempo relegate agli annali della ciarlataneria, e a buona ragione.

Oggi la comunità scientifica ha accettato il fatto che certi animali percepiscono i campi magnetici e modificano il comportamento di conseguenza, con benefici per la sopravvivenza: sebbene il fatto che le mucche da pascolo si allineino magneticamente desti perplessità. Il senso magnetico è stato ormai documentato in decine di specie, da migratori stagionali, come pettirossi e farfalle monarca, a navigatori esperti come piccioni viaggiatori e tartarughe marine; da invertebrati come astici, api e formiche a mammiferi come talpe; e dai microscopici batteri alle gigantesche balene.

Quello che nessuno sa con certezza è come lo facciano, a eccezione dei batteri. Il magnetismo è «il senso di cui sappiamo di meno», afferma Steven M. Reppert, neurobiologo alla University of Massachusetts Medical School, a Worcester. Nell'ultimo decennio, però, collaborazioni tra biologi, fisici e scienziati della Terra hanno iniziato a proporre meccanismi che potrebbero verosimilmente essere alla base di questo senso, e a individuare strutture anatomiche in cui potrebbero essere sfruttati. Nessuna di queste idee ha anco-

Megan Caponetto (*shrimp*), fotografia di Christopher Griffith

ra ottenuto l'approvazione unanime della comunità scientifica, ma l'evidenza sperimentale trovata fino a ora è davvero affascinante. Certi animali potrebbero persino nascondere più di un tipo di organo per il senso magnetico. E mentre alcuni di questi sensori si comporterebbero come comuni bussole altri si baserebbero su effetti quantistici. Il senso magnetico continua a generare un dibattito animato, ma nei prossimi anni i rapidi progressi in corso potrebbero risolvere il problema una volta per tutte.

Smania migratoria

I primi indizi sul fatto che gli animali usano il campo geomagnetico come guida per il comportamento emersero circa mezzo secolo fa. Fin dagli anni cinquanta alcuni ricercatori avevano notato che, in autunno, i pettirossi in cattività cercassero si scappare verso il lato sud della loro voliera – direzione in cui tenderebbero a migrare in quel periodo dell'anno – anche se non avevano alcun segnale visivo che indicasse dove puntare. Negli anni sessanta Wolfgang Wiltschko, studente di biologia alla Goethe-Universität di Francoforte, dimostrò che avvolgendo bobine elettromagnetiche intorno alla gabbia era in grado di illudere gli uccelli, facendoli andare nella direzione sbagliata. Quella di Wiltschko fu probabilmente la prima prova sperimentale dell'esistenza di un senso magnetico, e la reazione fu di scetticismo. «Quando ho scoperto che il campo magnetico aveva un ruolo nell'orientamento dei pettirossi, non mi ha creduto praticamente nessuno», ricorda Wiltschko.

I primi indizi sul senso magnetico negli animali sono emersi negli anni cinquanta

Poco dopo la scoperta, Wiltschko ha incontrato la sua futura moglie e collaboratrice scientifica di una vita, Roswitha. Da allora, insieme hanno studiato il senso magnetico degli uccelli, lavorando principalmente con passeri che catturavano vicino i loro laboratori. I coniugi hanno iniziato a pubblicare i risultati nel 1972, svelando che i pettirossi sanno percepire non solo la direzione geografica del nord magnetico ma anche l'inclinazione del campo rispetto a un piano orizzontale.

Il campo geomagnetico varia in modo continuo da polo a polo. Ai poli è verticale, puntando dritto verso l'alto al Polo Sud e verso il basso al Polo Nord; a metà strada circa tra i due poli, lungo un «equatore magnetico», il campo è orizzontale. Una bussola deve tenere l'ago in equilibrio orizzontale, quindi non è in grado di misurare l'inclinazione del campo, ma solo la sua componente orizzontale. Gli uccelli, e come si è scoperto in seguito anche molti altri animali, sanno fare meglio: usano l'inclinazione per stimare, almeno grossolanamente, la loro distanza dai poli.

Le variazioni nel campo magnetico terrestre, inoltre, non si limitano all'inclinazione che cambia andando da un polo all'altro. Rocce magnetiche nella crosta, per esempio, possono produrre anomalie locali sia nella direzione sia nell'intensità del campo. Alcuni animali – per esempio le tartarughe marine – sembrano sfruttare una «mappa mentale» di queste anomalie, che li aiuta a sapere in che direzione è il nord e in che posizione si trovano rispetto alla meta. Kenneth J. Lohmann, dell'Università del North Carolina a Chapel Hill, ha scoperto che in cattività le tartarughe marine tendono a rispondere a campi che simulano le condizioni in vari punti delle rotte migratorie. Questi rettili tentano di nuotare nella direzione che li condurrebbe a destinazione, partendo da quei punti. Per avere questa «mappa magnetica», probabilmente un animale ha bisogno non solo di rilevare le anomalie dell'inclinazione del campo ma anche le variazioni di intensità.

Alcuni ricercatori ritengono che anche gli uccelli abbiano, in aggiunta alla capacità di orientarsi verso nord o sud, un senso della mappa magnetica, ma Anna Gagliardo, esperta di olfatto aviario all'Università di Pisa, ritiene che le prove di questa mappa siano deboli. A quanto pare gli uccelli sono capaci di trovare la direzione anche usando altri sensi. «Quarant'anni di esperimenti in varie parti del mondo – avverte Gagliardo – e ogni tipo di manipolazione magnetica non ha impedito ai colombi di tornare a casa». D'altra parte, osserva, se vengono privati dell'olfatto recidendo i nervi del naso, questi uccelli si perdono, e aggiunge che colombi allevati in voliere che si aprono solo verso l'alto, in modo che gli uccelli non capiscano da che direzione arrivano gli odori dell'ambiente, sono incapaci di navigare. Quindi, sebbene la prova del fatto che gli uccelli sappiano dirigersi verso il nord o il sud magnetico sia piuttosto solida, Gagliardo dubita che il loro senso magnetico sappia fare molto di più.

Altri scienziati, però, ritengono che gli uccelli abbiano due sensi magnetici distinti, ciascuno ottimizzato per un uso diverso: un senso della bussola per la direzione del campo e un «magnetometro» per l'intensità. Altri ancora citano filoni di ricerca che darebbero adito a una delle due interpretazioni ma non all'altra. Una causa della differenza di posizioni è che rilevare gli effetti del magnetismo sul comportamento è di una difficoltà diabolica, in parte perché tutti gli animali usano una vasta gamma di segnali sensoriali per orientazione e navigazione. Sanno seguire Sole, Luna e perfino le stelle; riconoscere i punti di riferimento geografici a terra e la direzione prevalente delle onde in mare; ricordarsi gli odori dei luoghi. Gli animali, osserva Michael Winklhofer, geofisico alla Ludwig-Maximilians-Universität di Monaco di Baviera, navigano usando molteplici sensi. «Prendono qualsiasi segnale sia disponibile. Se un segnale sembra sospetto, ne usano uno più affidabile».

Anche i risultati più significativi dagli esperimenti condotti con più accortezza spesso si prestano a molteplici interpretazioni. Una delle osservazioni principali fatte dai coniugi Wiltschko è che al buio il senso della bussola dei pettirossi non funziona. Questo senso necessita di luce con una componente blu, vale a dire di lunghezza d'onda corta. I Wiltschko sono arrivati a questa conclusione osservando pettirossi in laboratorio, il che aiuta a separare e distinguere i vari segnali sensoriali su cui gli uccelli possono basare il proprio comportamento, ma significa anche che gli animali si trovano in condizioni abbastanza artificiali.

In un importante studio del 2004, però, Henrik Mouritsen, dell'Università di Oldenburg, in Germania, ha dimostrato in maniera piuttosto convincente che anche in natura c'è un'interazione tra luce e senso della bussola, osservando che gli usignoli

IN BREVE

Decine di specie, dalle formiche alle balene, hanno una capacità ben documentata di percepire il campo magnetico terrestre e usarlo per orientarsi e nella navigazione.

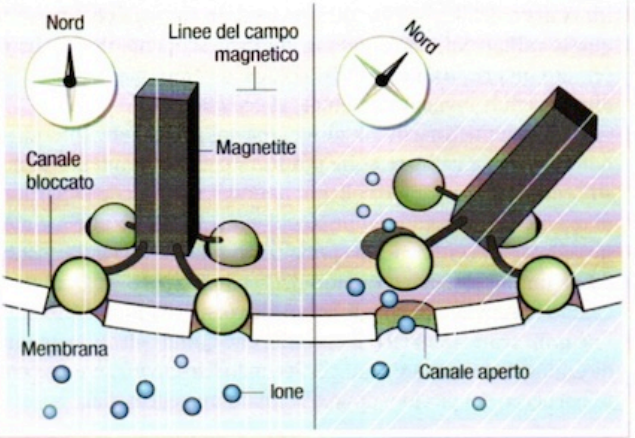
Dopo alcune false partenze, i ricercatori potrebbero aver individuato gli organi responsabili di questo senso magnetico, e stanno iniziando a capire la fisica che ne è alla base.

Alcuni animali userebbero microscopiche particelle magnetiche per rilevare il campo; altri si servirebbero di un effetto quantistico su certi pigmenti dell'occhio.

PRIMA IPOTESI

Dai pesci agli uccelli

Alcuni esperti ritengono che il senso magnetico degli animali sia simile a quello delle narici della trota arcobaleno. In certe cellule sensoriali di questo pesce, pile composte da particelle di magnetite, un ossido di ferro, rispondono ai cambiamenti di direzione del campo geomagnetico (relativi alla testa del pesce) aprendo e chiudendo canali nella membrana cellulare. Il conseguente passaggio di ioni da un lato all'altro della membrana dà inizio a un segnale che si propaga lungo il filamento nervoso, fino ad arrivare al cervello.



ricalibrano il loro senso magnetico ogni sera, al tramonto. Nell'esperimento Mouritsen ha catturato decine usignoli, a cui ha attaccato piccoli ricetrasmettitori. Al tramonto ha esposto 18 uccelli a un campo magnetico che simulava quello terrestre ma che puntava a est invece che a nord. Con il buio Mouritsen ha aperto le gabbie e fatto uscire gli uccelli, che sono stati seguiti da suoi colleghi a bordo di un'automobile con una grossa antenna. Mentre gli uccelli che non erano stati esposti al campo magnetico artificiale hanno ripreso la migrazione verso nord, i 18 esposti al campo artificiale si sono diretti verso ovest. La sera dopo, però, anche quegli uccelli hanno corretto la rotta, riprendendo a volare verso nord.

Sebbene i risultati abbiano suggerito che al crepuscolo gli uccelli azzerino il loro nord magnetico, ci sono varie possibili interpretazioni sul ruolo della luce in questo processo. Una è che gli uccelli abbiano una bussola interna che funziona solo se c'è luce, come affermato dai coniugi Wiltschko. Secondo un'altra, altrettanto plausibile, gli uccelli usano il Sole come punto di riferimento per ricalibrare una bussola interna che, di per sé, non ha bisogno della luce per funzionare. Per quanto ne sappiamo, gli usignoli potrebbero aver sfruttato questo senso anche al buio della notte.

È improbabile che i soli esperimenti sul comportamento possano risolvere la questione. Prima o poi bisognerà localizzare gli organi responsabili per il senso magnetico e capire come funzionino.

Indizi arrugginiti

Per l'anatomista, cercare un organo sensibile al magnetismo è un incubo. I sensori potrebbero essere singole celle isolate e sparse nell'organismo. Potrebbero contenere particelle magnetiche microscopiche, l'analogo dell'ago di una bussola, che, se analizzate, sarebbero difficili da distinguere da granelli di polvere di contaminazione. Qualsiasi proposta di meccanismo fisico che rileva il campo magnetico deve anche soddisfare requisiti molto stringenti. In particolare deve essere sensibile a campi deboli quanto quello terrestre e separare il segnale di questi campi dal rumore dovuto alle vibrazioni molecolari: cosa che per una struttura microscopica è particolarmente difficile. Finora l'unico meccanismo identificato e stabilito con certezza è quello sfruttato dai batteri.

A latitudini dove il campo geomagnetico è sufficientemente inclinato, cioè dove si è abbastanza lontani dall'equatore magnetico, alcuni batteri usano il campo al posto della forza di gravità per «sapere» in che direzione è il basso e quindi poter nuotare verso il fondo fangoso del mare, il loro habitat preferito. Negli anni settanta si è dimostrato che questi batteri contenevano microscopiche particelle di magnetite, un tipo di ossido di ferro altamente magnetico, che si allineavano sia tra loro sia con il campo, orientando l'organismo nella giusta direzione.

I batteri offrivano un paradigma naturale per capire il fenomeno della magnetoricezione più in generale. Negli anni ottanta Joseph L. Kirschvink, geobiologo oggi al California Institute of Technology di Pasadena, propose insieme ad altri ricercatori che strutture simili basate sulla magnetite potessero trovarsi anche nel regno animale. Gli scienziati quindi iniziarono a cercare particelle del genere in animali noti per la loro sensibilità ai campi magnetici.

Circa dieci anni fa un gruppo che includeva Winklhofer, Wolfgang Wiltschko, Gerta e Günther Fleissner, anche loro una coppia di scienziati marito e moglie della Goethe-Universität, ha scoperto affascinanti strutture anatomiche contenenti particelle di magnetite. Queste strutture si trovavano nella pelle che riveste la parte superiore del becco dei piccioni viaggiatori. Le particelle erano piccolissime, dell'ordine di pochi nanometri, quindi i loro moti casuali sarebbero stati considerevoli rispetto alle loro dimensioni. Questo rumore di fondo avrebbe impedito alle particelle di rilevare l'intensità del campo magnetico, ma in linea di principio ne avrebbero potuto individuare la direzione, sostiene Winklhofer: «La risposta non sarebbe stata molto forte, ma almeno come bussola poteva funzionare». Inoltre queste strutture si trovavano in tessuti con molte innervazioni, proprio come ci si aspetta da un organo di senso, che deve essere integrato nel sistema nervoso.

Però solo alcune particelle sembravano composte di magnetite. Le altre erano di un materiale simile, noto come maghemite, che non è altrettanto magnetico. Tuttavia il gruppo pensava di aver finalmente trovato l'organo che tutti cercavano.

In un secondo studio, i coniugi Fleissner hanno proposto un modello per spiegare come una struttura fatta principalmente di maghemite potesse funzionare da bussola. I due hanno suggerito che la maghemite può magnetizzarsi temporaneamente e quindi amplificare il campo geomagnetico, indirizzandolo verso le particelle di magnetite.

Winklhofer però ha preso le distanze dai suoi ex collaboratori, contestandone le tesi in articolo pubblicato insieme a Kirschvink. I due ricercatori hanno citato prove secondo cui la maghemite nel becco dei volatili è di tipo «amorfo», vale a dire priva di un allineamento cristallino: i materiali amorfi tendono a essere magneti debolissimi, ha osservato Winklhofer, troppo deboli per il ruolo attribuito loro nel modello dei coniugi Fleissner. Altri scienziati hanno sottolineato che la posizione delle terminazioni nervose non è affatto chiara; in particolare non è chiaro se si trovino o meno esattamente in corrispondenza delle particelle magnetiche. La conclusione di Winklhofer è che queste strutture candidate potrebbero non avere nulla a che fare con la magnetoricezione.

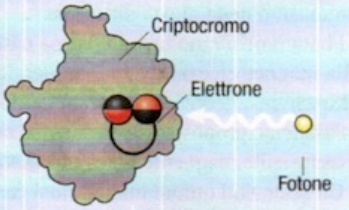
Un altro motivo per andarci cauti è che sia la magnetite sia al-

Fonte: *The Magnetic Sense and its Use in Long-Distance Navigation by Animals* di Michael M. Walker, Todd E. Dennis e Joseph L. Kirschvink, in «Current Opinion in Neurobiology», Vol. 12, n. 6, dicembre 2002

Occhi magnetici

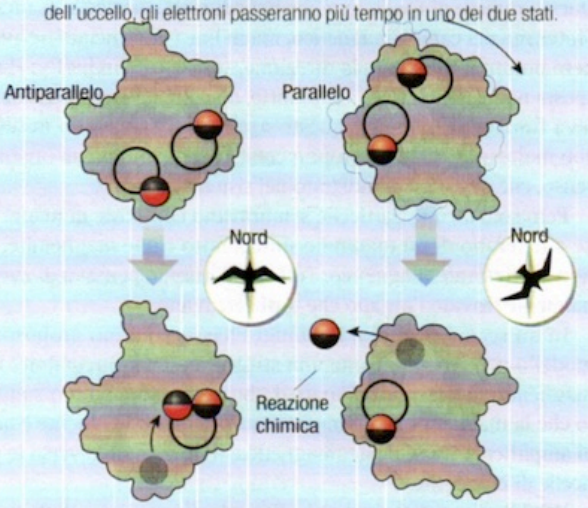
Molti scienziati ritengono che una proteina chiamata criptocromo, che si trova nella retina, sia la chiave per capire il senso magnetico degli uccelli. Certe cellule dell'occhio rileverebbero dov'è il nord perché una reazione chimica verrebbe accelerata o rallentata in funzione della direzione del campo geomagnetico. Questa reazione avrebbe inizio quando un fotone colpisce una molecola di criptocromo, separando due elettroni che altrimenti orbiterebbero in coppia. Il risultato sarebbe l'invio di un segnale dalla cellula al cervello, in modo che l'animale sia cosciente della direzione del campo.

1 Quando il criptocromo è stabile, gli elettroni orbitano in coppia, con i loro spin, l'equivalente quantistico dell'asse nord-sud di un magnete, allineati in direzioni opposte, o anti-parallele. (Qui sono rappresentati solo due degli elettroni della molecola.)



2 Quando un fotone colpisce il criptocromo, fa saltare uno degli elettroni di questa coppia all'altro lato della molecola.

3 I due elettroni ora possono trovarsi in due stati: parallelo e anti-parallelo, e in realtà passano del tempo in ciascuno dei due stati. Ma a seconda della direzione del campo geomagnetico rispetto agli occhi dell'uccello, gli elettroni passeranno più tempo in uno dei due stati.



4 L'uccello vola verso il Polo Nord magnetico, il che fa sì che gli elettroni passino più tempo nello stato anti-parallelo. La reazione è bloccata. L'elettrone può ritornare nello stato stabile (fino al prossimo fotone).

5 Se l'uccello va fuori rotta, gli elettroni passano più tempo nello stato parallelo, in cui può avvenire una reazione che coinvolge l'elettrone saltato, togliendolo dalla molecola e che avvertirebbe l'animale del fatto che non punta più a nord.

(Numerosi dettagli di questo meccanismo, compreso il modo in cui la cellula traduce la reazione in un segnale da mandare al cervello, e quale sarebbe la reazione coinvolta, sono ancora sconosciuti.)

tre particelle magnetiche sono estremamente diffuse. «Perfino la polvere di un laboratorio contiene materiali magnetici», avverte Winklhofer. Nel dissezionare i cadaveri, gli anatomisti devono usare bisturi di ceramica invece che di acciaio per evitare di introdurre frammenti metallici nei tessuti estratti dagli animali. Se alcune particelle entrano nell'organismo come contaminanti possono essere assorbite dai globuli bianchi, che in seguito, al microscopio, potrebbero apparire come possibili cellule sensoriali.

Nonostante le varie difficoltà nell'individuare i recettori magnetici nei piccioni viaggiatori, Winklhofer e Kirschvink sono convinti proponitori dell'ipotesi della magnetite. I due puntano a quella che secondo loro è la prova più schiacciante dell'esistenza di un organo del genere: cellule delle narici della trota arcobaleno. Michael M. Walker, dell'Università di Auckland, in Nuova Zelanda, studia queste cellule dal 1997, anno in cui le ha scoperte. Walker ha osservato una risposta elettrofisiologica ai campi magnetici: vale a dire, le cellule inviano un segnale al cervello.

Attualmente Kirschvink dirige una collaborazione internazionale che vuole caratterizzare struttura e comportamento di questi sensori. Kirschvink e colleghi hanno scoperto che le particelle di magnetite si trovano in organelli che aderiscono alle membrane cellulari di certi neuroni specializzati. Ciascuna cellula costituirebbe un microscopico organo del senso magnetico. Quando un campo magnetico piega gli organelli verso una nuova direzione, i neuroni scaricano verso il cervello, che quindi «deduce» in quale direzione deve nuotare il pesce. Secondo Kirschvink, chi ha cercato nel becco dei piccioni dovrebbe guardare nelle narici.

Segni criptici

La magnetite non è il solo candidato principale. Un altro meccanismo plausibile per molti ricercatori è basato sulla fisica quantistica. Klaus Schulten, biofisico teorico oggi all'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign, osservò negli anni settanta che certe reazioni chimiche influenzate da campi magnetici potrebbero fornire una base fisica per il senso magnetico. Queste reazioni inizierebbero quando i fotoni colpiscono un apposito pigmento, producendo radicali liberi. La necessità di avere fotoni spiegherebbe il legame che sembra esserci tra luce e senso della bussola. All'inizio però l'idea sembrava stravagante, nemmeno Schulten sapeva spiegare in che modo il meccanismo avrebbe generato un segnale che poi sarebbe stato trasmesso al cervello.

Poi, verso la fine degli anni novanta, alcuni biochimici hanno scoperto un nuovo pigmento, una proteina chiamata criptocromo, prima nelle piante e in seguito nella retina dei mammiferi, uomo compreso, dove si trova in diverse varianti e svolge un importante ruolo nella sintonizzazione dei ritmi biologici del giorno e della notte. Secondo Schulten il criptocromo ha le proprietà adatte per il senso della bussola, ed è possibile che certe cellule della retina si servano della formazione di radicali liberi per individuare la direzione del campo geomagnetico.

Esperimenti di laboratorio hanno dimostrato che quando il criptocromo assorbe un fotone nello spettro di luce blu l'energia di quel fotone fa saltare un elettrone da un lato all'altro della proteina. In generale una molecola è stabile dal punto di vista chimico quando i suoi elettroni sono appaiati nelle loro orbite. Nel criptocromo però lo spostamento di un elettrone fa sì che ci siano due elettroni che orbitano ciascuno da solo. Questa «coppia radicale» di elettroni segue una complessa coreografia, dettata dai loro spin.

Lo spin è l'analogo quantistico dell'asse di una barra magnetica. Lo spin di un elettrone interagisce con il campo geomagneti-

co e con gli spin dei nuclei degli atomi, e queste interazioni fanno sì che lo spin dell'elettrone subisca un moto di precessione, come l'asse di rotazione di una trottola ruota (fa un giro di precessione) intorno alla verticale. Nel caso della coppia radicale, gli spin dei due elettroni si influenzano anche a vicenda.

A volte gli spin puntano circa nella stessa direzione, altre volte puntano in direzioni opposte, o antiparallele. Il punto però è che un campo magnetico esterno, come quello della Terra, fa variare le proporzioni di tempo che la coppia di elettroni passa in ciascuno dei due allineamenti. È così che il campo geomagnetico può, almeno in linea di principio, influenzare la chimica del criptocromo, perché certe reazioni avvengono solo quando gli spin sono paralleli. Dunque, se un campo mantiene gli spin paralleli per un tempo più lungo, il tasso di queste reazioni aumenta.

La velocità di una reazione sensibile allo spin potrebbe essere il segnale chimico che induce un neurone a eccitarsi e a inviare un messaggio fino a raggiungere il cervello. Sfortunatamente, sebbene questo principio generale sia noto ai chimici, nel caso del criptocromo nessuno sa con certezza quali sarebbero le reazioni coinvolte, né come variazioni nel tasso di queste reazioni potrebbero indurre l'eccitazione del neurone. Eppure negli ultimi dieci anni si sono osservati numerosi indizi a favore.

La precessione degli spin risponde non solo a campi statici, come quello geomagnetico, ma anche a campi che cambiano rapidamente, come nelle onde radio. Nel 2004 Ritz e i coniugi Wiltschko hanno dimostrato che le onde possono scombussolare gli uccelli. Questo disturbo avviene solo a particolari lunghezze d'onda, come dovrebbe essere se le onde interferissero con la danza degli spin. «Dal punto di vista fisico, finora è la migliore dimostrazione del meccanismo dei radicali», sostiene Ritz.

Nel 2009 Mouritsen ha dimostrato che se c'è una lesione in certe regioni del cervello legate al senso della vista, gli uccelli hanno difficoltà a orientarsi con il campo magnetico. Nel 2010 una ricerca su pettirossi e polli condotta da Christine Niessner, della Goethe-Universität, ha trovato che il criptocromo è prodotto non solo dalle cellule della retina ma, più specificamente, da quelle sensibili agli ultravioletti, proprio dove i biologi si aspettavano di trovarlo, dato che la formazione della coppia radicale necessita di luce.

Il caso però non è chiuso. Gran parte dei risultati non è ancora stata ripetuta in altri laboratori. E, come nel caso della magnetite, alcune prove potrebbero non essere così schiaccianti. Ritz avverte che le onde radio producono non solo campi magnetici ma anche campi elettrici, che potrebbero disturbare i processi biochimici in modo imprevedibile. Per esempio le onde interferiscono con i recettori dei neurotrasmettitori attivi nei centri del piacere, quindi potrebbero disorientare indirettamente gli animali invece di far perdere loro la capacità di percepire i campi magnetici.

Peter J. Hore, fisico dell'Università di Oxford, aggiunge che la sensibilità degli uccelli alle onde radio sembra troppo buona per essere vera: un campo 2000 volte più debole di quello terrestre è sufficiente a far perdere loro temporaneamente il senso magnetico. E gli stessi dubbi emergono da una serie di studi sui moscerini. Nel 2008 Reppert e collaboratori hanno osservato che questi insetti potevano essere addestrati a seguire campi magnetici per trovare una ricompensa zuccherina; ma moscerini mutanti, a cui mancava il gene del criptocromo, non avevano quella capacità.

Gli insetti, però, erano esposti a campi dieci volte più intensi di quello geomagnetico. Inoltre, fa notare Kirschvink, gli scienziati che conducevano gli esperimenti erano al corrente di quando i campi erano accesi o spenti, e quindi avrebbero potuto dare segnali alle loro cavie anche inconsciamente.

Nel complesso, secondo Hore, sebbene le prove del modello del criptocromo si stiano accumulando, «ancora non ci siamo». Mancano vari tasselli del puzzle, a cominciare dai dettagli del meccanismo. «È frustrante», lamenta Hore. Per poter davvero dire di aver trovato l'organo di questo nuovo senso bisognerà dimostrare l'esistenza di una risposta elettrofisiologica ai campi magnetici. Nella biologia che studia i sensi, l'elettrofisiologia è la dimostrazione ideale, nota Ritz: «Così abbiamo capito come funziona la vista».

Nel giugno 2011 si è ottenuto un risultato interessante. Reppert ha mostrato che se nel moscerino si sostituisce il gene del criptocromo con la corrispondente sequenza del genoma umano l'insetto mantiene la capacità di orientarsi con i campi magnetici. La scoperta ha dato nuovo ossigeno a vecchie ipotesi, mai sostenute da solide prove, secondo cui anche l'uomo ha un senso magnetico. Esperimenti condotti alla fine degli anni settanta da Robin R. Baker, dell'Università di Manchester, avevano dato indizi in tal senso, ma i tentativi di replicare i risultati hanno dato esiti negativi.

Presto il meccanismo del senso magnetico verrà identificato e spiegato

Tirando le somme

I ricercatori si sono concentrati sulle due ipotesi principali, magnetite e criptocromo, abbandonando altre possibili spiegazioni del senso magnetico. Un'eccezione riguarda i pesci cartilaginei (squali e razze), il cui senso potrebbe essere conseguenza della sensibilità ai campi elettrici. Questi pesci hanno canali microscopici che attraversano la pelle e conducono elettricità, e li usano per rilevare voltaggi debolissimi, fino a 5 miliardesimi di volt (si veda *Il senso elettrico degli squali* di R. Douglas Fields, in «Le Scienze» n. 470, ottobre 2007). Un campo magnetico induce una differenza di potenziale elettrico su un conduttore in movimento, un pesce potrebbe sentire il campo terrestre muovendo la testa.

Anche quando il dibattito si sarà concluso, imprese come quelle delle megattere, capaci di nuotare per centinaia di chilometri in mare aperto senza deviare di più di un grado dalla rotta che si erano prefissate, resteranno almeno in parte senza spiegazione.

Tuttavia, secondo molti ricercatori presto il meccanismo del senso magnetico verrà identificato e spiegato. Le tecniche hanno fatto passi da gigante: l'elettronica permette di seguire anche uccelli molto piccoli, i metodi per visualizzare strutture microscopiche diventano sempre più precisi, e scienziati di molteplici discipline si sono uniti all'impresa. Quando il mistero sarà svelato, forse alcuni di loro guarderanno a questi anni con nostalgia, suggerisce Ritz: «Non capita tutti i giorni di scoprire un nuovo senso». ■

PER APPROFONDIRE

Structure and Function of the Vertebrate Magnetic Sense. Michael M. Walker e altri, in «Nature», Vol. 390, pp. 371-376, 27 novembre 1997.

A Model for Photoreceptor-Based Magnetoreception in Birds. Ritz T., Adem S. e Schulten K., in «Biophysical Journal», Vol. 78, n. 2, pp. 707-718, febbraio 2000.

Migrating Songbirds Recalibrate Their Magnetic Compass Daily from Twilight Cues. Cochran W.W., Mouritsen H. e Wikelski M., in «Science», Vol. 304, pp. 405-408, 16 aprile 2004.

Magnetic Alignment in Grazing and Resting Cattle and Deer. Begall S., Červený J., Neef J., Vojtěch O. e Burda H., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 105, n. 36, pp. 13451-13455, 9 settembre 2008.

Magnetoreception. Supplemento monotematico a «Interface Focus: Journal of the Royal Society Interface», Vol. 7, n. 2, 6 aprile 2010.

ESPLORAZIONE SPAZIALE

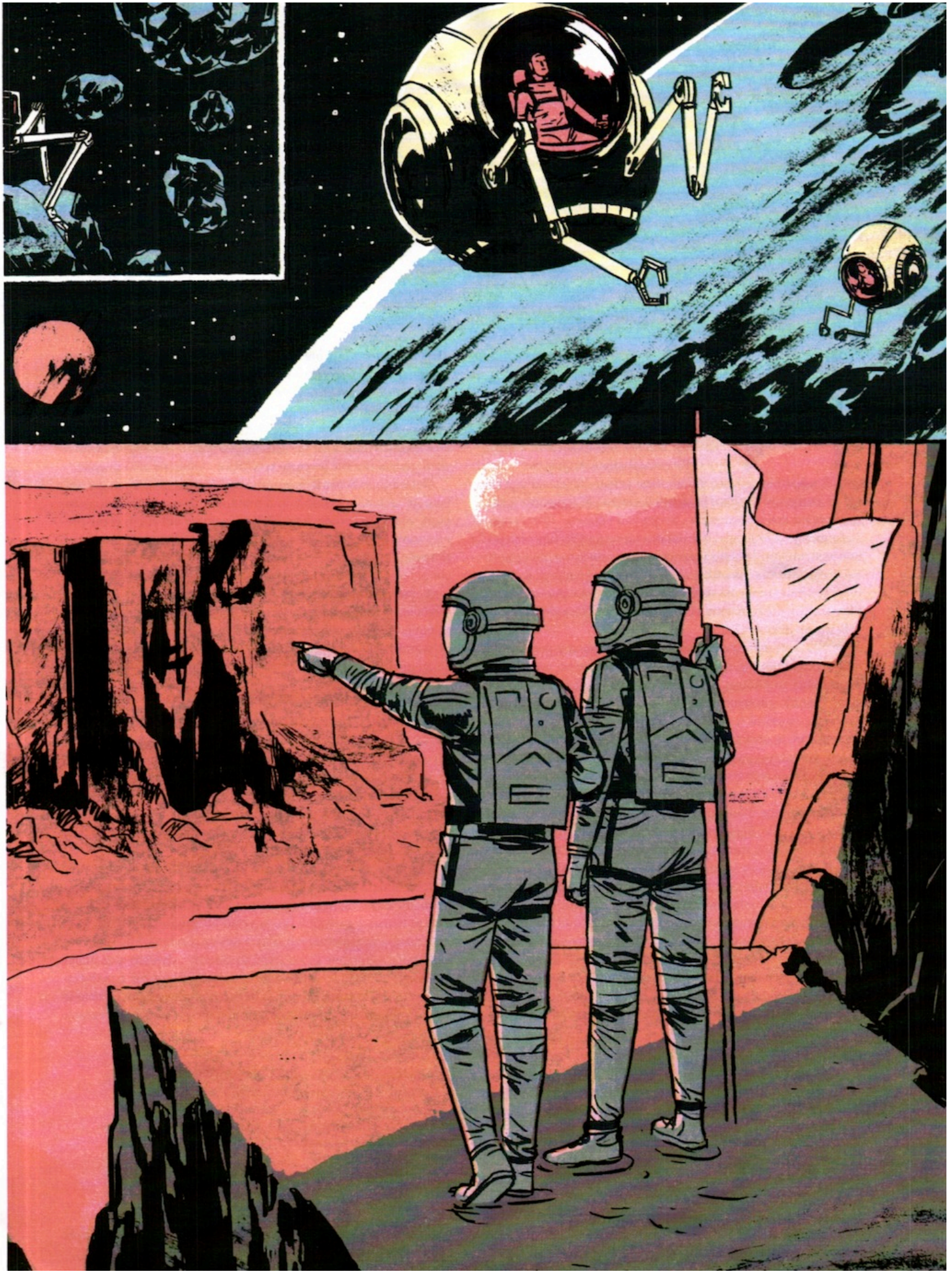
VERSO LO SPAZIO PROFONDO

Adattando idee tratte dall'esplorazione planetaria con sonde automatiche, il programma di voli umani della NASA potrebbe portarci agli asteroidi vicini e a Marte in tempi relativamente brevi e con spese contenute

di Damon Landau e Nathan J. Strange

Patrick Lagar

In viaggio. Un asteroide, il satellite marziano Phobos e la superficie del Pianeta Rosso sono altrettante tappe dell'itinerario proposto. I satelliti sono ingranditi in questa illustrazione di fantasia.



Damon Landau è analista delle missioni verso i pianeti esterni al Jet Propulsion Laboratory (JPL) della NASA. Ha partecipato alla progettazione della traiettoria verso Giove della missione Juno e allo studio degli asteroidi vicini che potrebbero diventare la meta di una missione con equipaggio.

Nathan J. Strange progetta missioni al JPL. Ha fatto parte del gruppo di navigazione della missione Cassini-Huygens verso Saturno e ha collaborato alla progettazione del tour dei satelliti di Saturno. Ha lavorato ai piani di progettazione per future missioni con equipaggi umani*.

*Le opinioni espresse in questo articolo sono degli autori, non della NASA o del JPL.

Nell'ottobre 2009 un piccolo gruppo di specialisti di esplorazione spaziale robotizzata decise di avventurarsi fuori dal territorio conosciuto e cominciò una riflessione creativa intorno a nuovi approcci al volo spaziale umano. A stimolarci fu il rapporto della commissione Augustine, il comitato di esperti incaricato alcuni mesi prima dal presidente Obama di analizzare lo space shuttle e il sistema di trasporto spaziale che avrebbe dovuto sostituirlo. Secondo il rapporto, «il programma statunitense di volo spaziale umano sta seguendo una traiettoria non sostenibile». Avendo lavorato a un entusiasmante programma di esplorazione robotizzata che ha portato l'umanità da Mercurio ai confini estremi del sistema solare, ci chiedevamo se saremmo riusciti a trovare soluzioni tecniche per alcuni dei problemi politici e finanziari della NASA.

Le idee non mancavano: usare motori ionici per portare in orbita i componenti di una base lunare; trasmettere energia a rover robotici su Phobos, il satellite di Marte; agganciare alla Stazione spaziale internazionale (ISS) propulsori a effetto Hall ad alta potenza e inserirla in un'orbita che includa sia la Terra sia Marte; collocare in anticipo booster a propulsione chimica lungo una traiettoria interplanetaria in modo che gli astronauti li possano raccogliere durante il volo; usare capsule di sopravvivenza come quelle di *2011: Odissea nello spazio* anziché tute spaziali; invece di mandare un equipaggio su un asteroide, portare un asteroide (molto piccolo) dagli astronauti della Stazione spaziale. Quando cominciammo lavorare sui numeri, scoprimmo che la propulsione elettrica – tramite un motore a ioni o una tecnologia analoga – avrebbe potuto ridurre drasticamente la massa al lancio necessaria per una missione umana verso gli asteroidi e Marte.

Sembrava di essere tornati alla NASA degli anni sessanta, meno il fumo delle sigarette. Discutevamo di ciò che era possibile fare, evitando di impantanarci in ciò che non lo era. Dopo la nostra analisi iniziale tenemmo un seminario informale per i nostri colleghi del Jet Propulsion Laboratory (JPL) della NASA, in cui sintetizzammo quei concetti e i relativi calcoli. Per tutta la primavera e l'estate seguenti incontrammo altri tecnici e scienziati interessati al nostro approccio che ci dettero idee per migliorarlo. Venimmo a conoscenza di esperimenti effettuati sia all'interno sia all'esterno della NASA: da test di potenti propulsori elettrici a progetti di pannelli solari leggeri e ad alta efficienza. Le nostre discussioni si sono così ampliate fino a far parte di un più ampio movimento di pensiero innovativo che percorre la NASA e l'industria aerospaziale.

Mettendo insieme le proposte più promettenti e strategie collaudate, abbiamo sviluppato il piano di una missione con astronauti verso l'asteroide 2008 EV5 da lanciare nel 2024, come preparazione di un futuro atterraggio su Marte. Il piano è progettato in modo da rientrare nell'attuale budget della NASA, e, cosa ancor più importante, suddivide il lavoro globale in una serie di passaggi incrementali, offrendo all'agenzia flessibilità nell'accelerare o rallentare le operazioni a seconda dei fondi disponibili. In sintesi, l'obiettivo è applicare le lezioni del programma di esplorazione scientifica con sonde robotiche per rinnovare quello con equipaggi umani.

Piccoli passi fanno un grande balzo

Il rapporto della commissione Augustine suscitò un acceso dibattito politico, culminato nella decisione di delegare gran parte del compito di portare astronauti in orbita bassa ad aziende private, lasciando libera la NASA di concentrarsi su tecnologie innovative portando l'esplorazione umana verso nuove frontiere. Ma come farà l'agenzia a percorrere questa strada senza il sostegno politico e le risorse di cui godeva nei giorni gloriosi degli sbarchi lunari del programma Apollo?

L'approccio ormai consolidato dell'esplorazione robotizzata è incrementale: si sviluppa un nucleo di tecnologie che consentano di effettuare missioni via via più ambiziose. Anziché affidarsi a un percorso di sviluppo unico verso un singolo obiettivo, questa strategia di esplorazione sfrutta nuove combinazioni di tecnologie per raggiungere una varietà di obiettivi. Ovviamente, anche questo programma ha conosciuto errori e inefficienze: la perfezione non esiste. Ma almeno non si blocca quando cambia il vento in politica o quando l'innovazione tecnologica rallenta. Il program-

IN BREVE

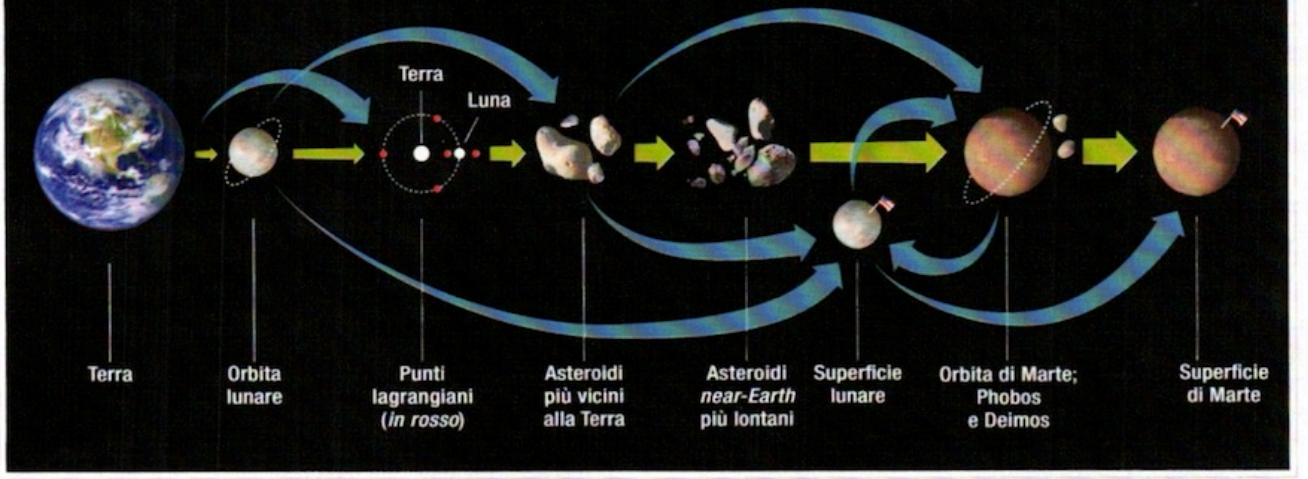
La politica spaziale degli Stati Uniti ha subito un totale rivolgimento. La NASA ha mandato in pensione lo shuttle, ha rinunciato al programma Constellation che avrebbe dovuto sostituirlo e ha esternalizzato i lanci in orbita. Si presume che ora possa tornare a occuparsi di ciò che sa fare meglio: andare dove nessuno è mai stato prima. Ma come?

Secondo gli autori, i tecnici dovranno adattarsi all'imprevedibilità della politica e stendere programmi che ne tengano conto. Dovranno progettare missioni che possano essere ampliate o ridimensionate al cambiare delle circostanze.

Veicoli per lo spazio profondo dotati di propulsori a ioni consentiranno spedizioni progressivamente più complesse verso l'orbita lunare, gli asteroidi vicini e un giorno anche Marte.

Molti modi per andare nello spazio

In passato il programma spaziale statunitense con equipaggi umani si è concentrato su uno specifico obiettivo e su un unico metodo per raggiungerlo. A partire dal 2010, le cose stanno andando diversamente. Ora l'obiettivo generale perseguito dalla NASA è quello di avventurarsi nello spazio interplanetario in missioni progressivamente più complesse, come il programma proposto dagli autori (*frecce verdi*) e alcune varianti (*frecce blu*). Le destinazioni sono elencate in ordine approssimativo di difficoltà. I veicoli possono essere riutilizzati per raggiungere altre destinazioni, seguire sequenze differenti o usare tecnologie diverse, in caso di problemi tecnici o di tagli ai finanziamenti imposti dalla politica.



ma di esplorazione spaziale umana può prendere a modello questa strategia. Non è costretto a iniziare con «un grande balzo», come l'Apollo; può compiere una serie di passi più modesti, ciascuno dei quali sfrutta i risultati del precedente.

Secondo alcuni, la vera lezione dell'esplorazione robotica sarebbe l'inutilità del volo umano spaziale, e se l'unico obiettivo della NASA fosse la scoperta scientifica nel breve periodo i veicoli senza equipaggio comporterebbero costi e rischi inferiori. Ma il compito della NASA va oltre la scienza, che è solo un aspetto del più ampio impulso umano a esplorare. Il volo spaziale è affascinante perché molti desidererebbero poter vivere un giorno questa esperienza. Le sonde automatiche sono solo la prima ondata dell'esplorazione del sistema solare. Missioni umane con finanziamenti pubblici saranno la seconda ondata, e la terza sarà fatta di privati cittadini che cercheranno fortuna e avventura nello spazio. Gli investimenti effettuati in passato dalla NASA hanno messo a punto la tecnologia che alimenta l'attuale corsa commerciale allo spazio, con lanci di capsule verso la Stazione spaziale e aerei spaziali che sfrecciano sopra il deserto del Mojave. Ora la NASA può sviluppare la tecnologia di cui avremo bisogno per andare più in là.

Il segreto è la flessibilità

Il percorso che raccomandiamo si fonda su tre principi base. Il primo è quello del «percorso flessibile», auspicato dalla commissione Augustine e accolto dal presidente Obama e dal Congresso, che sostituisce la vecchia idea di un percorso prefissato dalla Terra alla Luna e infine a Marte, sostituendola con un'ampia scelta di destinazioni possibili. Si inizierebbe dalle più vicine, per esempi dagli asteroidi vicini o *near-Earth*, quelli che si trovano più in prossimità del nostro pianeta rispetto alla fascia di asteroidi tra Marte e Giove.

Questo percorso ha bisogno di nuove tecnologie, specificamente la propulsione elettrica. Noi proponiamo di impiegare propulsori a effetto Hall (un tipo di motore a ioni) alimentati da pannelli solari. Un sistema di questo genere ha portato la sonda Dawn fino all'asteroide gigante Vesta e, nel 2015, la condurrà fino al pianeta nano Cerere (si veda l'articolo *L'alba dei razzi elettrici*, di Edgar Y. Choueiri, in «Le Scienze» n. 488, aprile 2009). Mentre i tradizionali razzi a propulsione chimica producono un'esplosione di gas potente ma breve, i motori elettrici generano una corrente di particelle lieve e continua. L'alimentazione elettrica rende i motori più efficienti, cosicché il loro consumo di combustibile è inferiore. (Pensate a un'auto elettrica spaziale.)

Poiché il prezzo da pagare per questa maggiore efficienza è una spinta inferiore, alcune missioni possono durare più a lungo. Una convinzione comune, ma sbagliata, è che i veicoli a propulsione elettrica siano troppo lenti per i voli con equipaggio; in realtà vi sono alcuni modi per aggirare l'ostacolo. Secondo l'idea emersa nella nostra prima sessione di *brainstorming*, si potrebbero usare «rimorchiatori» automatici a propulsione elettrica per collocare razzi chimici in punti chiave lungo una traiettoria, come una scia di briciole di pane; segnata la pista, gli astronauti potrebbero seguirla e recuperare i razzi durante il tragitto. Così le missioni potrebbero sfruttare l'efficienza della propulsione elettrica nei consumi di combustibile, mantenendo il vantaggio in termini di velocità della propulsione chimica.

Il punto cruciale è che la propulsione elettrica è meno costosa. Poiché il veicolo non ha bisogno di caricare tanto propellente, la massa totale al lancio si riduce del 40-60 per cento. E dato che, in prima approssimazione, il costo di una missione spaziale è direttamente proporzionale alla massa al lancio, ridurre quest'ultima della metà potrebbe tagliare i costi di un'analoga percentuale.

Molti appassionati di esplorazione spaziale si chiedono perché visitare un asteroide quando la destinazione che tutti sognano è Marte. In realtà gli asteroidi sono obiettivi ideali per un approccio incrementale allo sbarco sul Pianeta Rosso. Tra la Terra e Marte

Modificato a partire dal rapporto finale della commissione Augustine; NASA (*Terra, Luna e Marte*)

ce ne sono a migliaia, che rappresentano letteralmente una serie di trampolini di lancio verso lo spazio profondo. Poiché la gravità degli asteroidi è estremamente debole, atterrarvi richiede meno energia che scendere sulla Luna o su Marte. Organizzare una spedizione interplanetaria di lunga durata – 6-18 mesi – è già abbastanza difficile senza aggiungere lo sviluppo di veicoli complessi per effettuare gli atterraggi e le successive ripartenze. Le missioni verso gli asteroidi ci permetteranno di concentrarci su quello che, a nostro parere, è il problema più spinoso (e tuttora irrisolto) dei voli a grande distanza dalla Terra: come proteggere gli astronauti dagli effetti nocivi della mancanza di gravità e delle radiazioni spaziali (si veda l'articolo *Uno scudo per gli astronauti*, di Eugene N. Parker, in «Le Scienze» n. 455, luglio 2006). Accumulando esperienza nel fronteggiare i rischi dello spazio profondo, la NASA sarà in grado di progettare veicoli più idonei per le missioni sulla superficie di Marte.

Parecchi asteroidi interessanti dal punto di vista scientifico potrebbero essere visitati dagli astronauti in tempi di volo variabili da sei mesi a un anno e mezzo, usando un sistema di propulsione elettrica da 200 chilowatt (kW), che rappresenta un ragionevole progresso rispetto alle possibilità attuali; al momento sulla ISS sono installati pannelli solari che forniscono in totale 260 kW. Missioni del genere infrangerebbero la barriera dello spazio profondo rappresentando al tempo stesso un passaggio cruciale verso i tempi di volo di 2-3 anni e i propulsori da 600 kW necessari per l'esplorazione di Marte.

Per arrivare su un asteroide, non è necessario inventare tecnologie completamente nuove come ai tempi del programma Apollo

Il secondo principio base del nostro progetto è che la NASA non deve inventare tecnologie completamente nuove per qualunque cosa, come fu costretta a fare negli anni sessanta. Alcuni sistemi, in particolare quelli per la protezione dalla mancanza di gravità e dalle radiazioni spaziali, richiederanno nuove ricerche. Tutto il resto può essere derivato da tecnologie spaziali già esistenti. Il veicolo per lo spazio profondo può essere assemblato combinando elementi specializzati. Per esempio la struttura, i pannelli solari e i sistemi di supporto vitale possono essere adattati da progetti applicati sulla Stazione spaziale. E in questi settori la NASA può attingere anche all'esperienza accumulata da aziende private e agenzie spaziali di altre nazioni.

Il terzo principio consiste nell'ideare un programma in grado di proseguire senza perdere slancio anche quando una delle sue parti incontra problemi o ritardi. Questo principio dovrebbe applicarsi alla componente più discussa della politica spaziale adottata dal Congresso: il lanciatore destinato a portare in orbita l'equipaggio e la navicella. Il Congresso ha detto alla NASA di sviluppare di un nuovo razzo per il trasporto pesante, lo Space Launch System (SLS). Come annunciato nel settembre 2011, la NASA intende svilupparlo per gradi, partendo da una capacità di lancio pari a circa la metà di quella del Saturno V delle missioni Apollo, e lavorando via via fino a raggiungerne una di poco superiore. Il primo vettore SLS, insieme alla capsula Orion in fase di realizzazione, potrebbe portare gli astronauti in escursioni di tre settimane fino all'orbita lunare e ai punti lagrangiani del sistema Terra-Luna; ma non più in là, senza lo sviluppo di un nuovo sistema.

Fortunatamente i voli nello spazio profondo non dovranno attendere il completamento dello SLS. I preparativi possono iniziare subito, con lo sviluppo dei sistemi di supporto vitale e di propulsione elettrica necessari per viaggi oltre la Luna. Dando la massima priorità a questi sistemi, anche durante lo sviluppo dei nuovi razzi, la NASA potrebbe perfezionare i dettagli del progetto SLS per renderlo più adatto a missioni nello spazio profondo. Il progetto di questi componenti potrebbe anche prevedere che vengano lanciati con vettori commerciali o internazionali e poi assemblati in orbita, come è stato fatto per la ISS e la stazione spaziale Mir. L'impiego di lanciatori già esistenti darebbe impulso all'esplorazione dello spazio profondo. Avvalendosi della flessibilità di un ventaglio di opzioni, la NASA potrebbe far rientrare un maggior numero di progetti di esplorazione nel suo budget sempre più limitato.

Missione: 2008 EV5

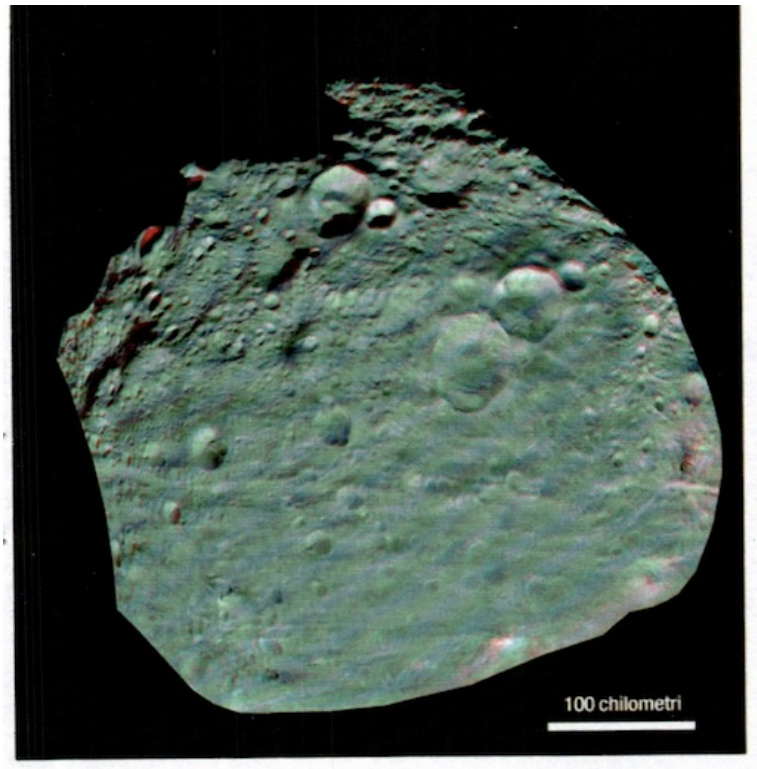
Nel nostro piano, la rinascita della NASA parte dalla costruzione di un mezzo per viaggiare da un pianeta a un altro: un veicolo per lo spazio profondo. La propulsione sarebbe fornita da un motore a ioni alimentato da pannelli solari e un nuovo modulo abitabile offrirebbe un riparo sicuro lontano dal nostro pianeta. Il modello più semplice di veicolo sarebbe costituito da due moduli che potrebbero essere portati entrambi in orbita bassa con un solo lancio del più piccolo dei nuovi vettori SLS. In alternativa, il compito potrebbe essere svolto da tre razzi commerciali, due per i componenti del veicolo e uno per i rifornimenti.

Il viaggio inaugurale sarà, ironicamente, il più tedioso. Per due anni il veicolo, senza equipaggio, sarà pilotato da terra, seguendo una lenta spirale che dall'orbita terrestre bassa lo porterà attraverso le fasce di radiazione di Van Allen in orbita alta: un percorso che permette di risparmiare sui consumi, ma è troppo lungo ed esposto a radiazioni per gli astronauti. Una volta raggiunto il margine esterno del pozzo gravitazionale terrestre, una posizione in cui basta un'ultima spintarella verso lo spazio interplanetario, il veicolo spaziale potrà effettuare passaggi ravvicinati in prossimità della Luna e altre manovre per modificare l'orbita ai fini di una partenza efficiente. A questo punto gli astronauti raggiungeranno il veicolo con un razzo chimico convenzionale.

Per un volo di prova, gli astronauti inseriranno il veicolo in un'orbita che rimane quasi sempre al di sopra del polo sud lunare. Da qui potranno controllare una flotta di esploratori robotici e indagare la composizione degli antichi depositi di ghiaccio nei crateri perennemente in ombra del bacino Aitken. Una missione simile consentirà di collaudare le procedure di un volo di lunga durata, pur rimanendo a pochi giorni di distanza dalla Terra. Dopo il rientro dell'equipaggio, il veicolo rimarrà in orbita terrestre alta, in attesa di rifornimenti e manutenzione per la prima missione verso un asteroide.

Abbiamo analizzato un certo numero di missioni del genere. Alcune prevedono che gli astronauti raggiungano piccoli oggetti (larghi meno di 100 metri) poco oltre la Luna e ritornino sulla Terra in meno di sei mesi. In altre potrebbero avventurarsi verso corpi di dimensioni più grandi (superiori a un chilometro) quasi nei pressi di Marte, per un viaggio totale di due anni.

Concentrarsi solo su una missione più facile potrebbe ostacolare lo sviluppo delle esplorazioni, limitando lo sviluppo di capacità tecnologiche. Viceversa, porsi come obiettivo una missione molto difficile potrebbe ritardare perpetuamente qualsiasi esplorazione significativa fissando traguardi fuori portata. La nostra idea progettuale di base si colloca tra questi due estremi. Si tratta di un volo di un anno tra andata e ritorno, da lanciare nel 2024, 30 giorni



L'asteroide Vesta avrà un piccolo satellite artificiale fino a luglio 2012: la sonda automatica Dawn della NASA, che poi si dirigerà verso il pianeta nano Cerere. La missione impiega motori a ioni ipereefficienti, che potrebbero essere utilizzati in missioni interplanetarie con equipaggio. (Indossando gli appositi occhialini si può vedere questa immagine in 3D.)

del quale dedicati a esplorare l'asteroide 2008 EV5. Questo oggetto celeste, lungo circa 400 metri, è di grande interesse per molti planetologi: si tratta infatti di un asteroide carbonaceo di tipo C, probabile relitto della formazione del sistema solare e forse rappresentativo della fonte originaria della materia organica terrestre.

Il modo più efficiente per raggiungerlo è sfruttando la gravità terrestre mediante un vecchio stratagemma, il cosiddetto effetto Oberth. Si tratta del contrario delle manovre di inserimento in orbita che effettuano normalmente le sonde robotiche. Si monta sulla navicella uno stadio a propulsione chimica di elevata potenza, trasportato da terra con un rimorchiatore con motore elettrico. Quando lo stadio è fissato e l'equipaggio è a bordo, il veicolo scende in caduta libera dalla sua posizione vicino alla Luna fino a una quota appena superiore all'atmosfera terrestre, acquistando una velocità molto elevata. Al momento giusto, lo stadio propulsore si accende e in pochi minuti il veicolo si libera dall'attrazione terrestre.

Questa manovra è particolarmente efficace nel momento in cui la navicella scende verso la Terra a tutta velocità perché la quantità di energia che guadagna è proporzionale alla velocità a cui si sta già muovendo. L'effetto Oberth è un'eccezione alla regola secondo cui i motori a ioni sono più efficienti dei razzi chimici; per sfruttare pienamente l'impulso gravitazionale della Terra occorre una spinta molto forte, in tempi brevi, che solo un razzo di elevata potenza può fornire. La combinazione della traiettoria a spirale con propulsione ionica e dell'effetto Oberth con propulsione chimica può ridurre del 40 per cento la quantità di combustibile necessaria per allontanarsi dalla Terra rispetto a un sistema interamente a propulsione chimica.

Una volta lasciato il nostro pianeta, i propulsori a effetto Hall si accendono e portano il veicolo a destinazione. Dato che la propulsione ionica fornisce una spinta continua, si presta a un uso flessibile. La missione è progettabile in modo da prevedere un'ampia serie di traiettorie di emergenza nel caso avvenisse un malfunzionamento in qualsiasi fase. (La sonda robotica giapponese Hayabusa ha superato diversi inconvenienti grazie ai motori a ioni.) Se problemi tecnici o finanziari ci impediranno di preparare il veicolo per lo spazio profondo in tempo per raggiungere l'asteroide EV5, potremo scegliere un altro obiettivo. Allo stesso modo, se incontreremo difficoltà tecniche potremo improvvisare. Per esempio, se fosse troppo difficoltoso immagazzinare nello spazio profondo i propellenti a elevate prestazioni, potremo ricorrere ad alternative meno potenti e rivedere la missione di conseguenza. Non esistono passaggi inevitabili.

I vantaggi dei moduli

Nel nostro piano, gli astronauti hanno a disposizione un mese di tempo per esplorare l'asteroide. Anziché indossare tute spaziali, potranno prendere esempio dai sommergibili di profondità e usare moduli di esplorazione. Fondamentalmente le tute spaziali sono grossi palloni, e un astronauta deve vincere continuamente la pressione dell'aria per compiere movimenti anche piccoli; ciò rende faticose le passeggiate spaziali e limita le operazioni che si possono compiere. Un modulo con un braccio robotico non solo aggira il problema, ma offre anche uno spazio dove mangiare e riposare. Grazie a esso, un astronauta potrebbe muoversi al di fuori dal veicolo base per parecchi giorni consecutivi. La NASA sta già sviluppando uno Space Exploration Vehicle (SEV) che può essere usato come modulo di esplorazione su un asteroide, e lo stesso progetto potrà essere adattato in un rover da impiegare sulla Luna o su Marte.

Gli astronauti effettueranno una ricognizione completa dell'asteroide, cercando affioramenti rocciosi insoliti e altri siti promettenti per la ricerca di campioni. L'equipaggio selezionato dalla NASA dovrà avere la formazione scientifica necessaria per individuare campioni preziosi nascosti nella polvere e, nel contempo, il background tecnico per riparare eventuali guasti.

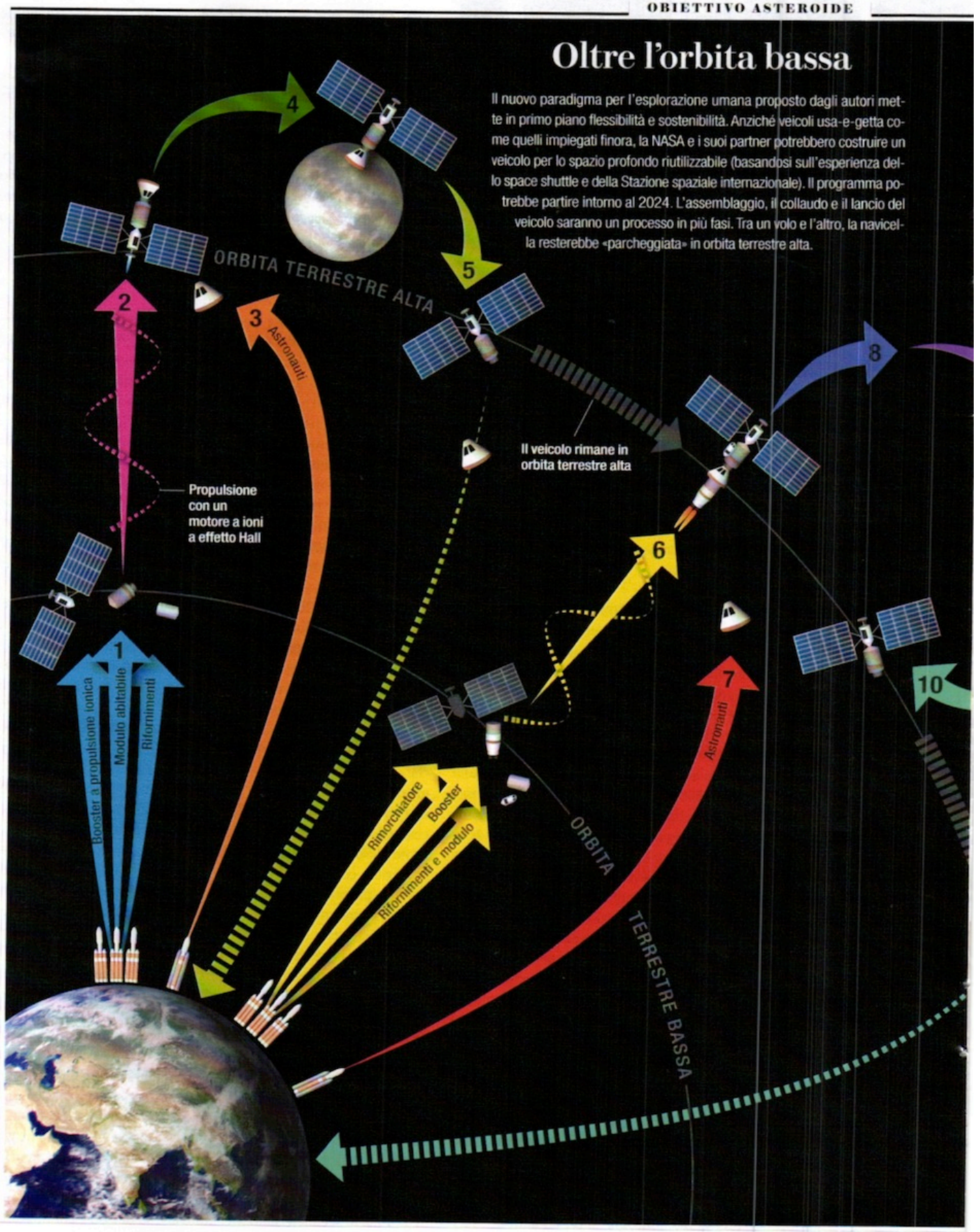
Al termine del mese di esplorazione, i motori ionici allontaneranno il veicolo dall'asteroide e lo inseriranno in una traiettoria che in sei mesi lo riporterà verso il nostro pianeta. Pochi giorni prima di raggiungere la Terra l'equipaggio entrerà in una capsula che si separerà dal veicolo principale e scenderà fino a posarsi nell'oceano. La parte della navicella rimasta vuota seguirà un orbita intorno al Sole un'orbita solare. Effettuerà un passaggio ravvicinato alla Terra, continuando ad azionare la propulsione ionica per ridurre la propria energia rispetto al sistema Terra-Luna; in questo modo, quando dopo un anno ritornerà nei pressi del nostro pianeta, potrà sfruttare un *flyby* con la Luna per rientrare nell'orbita terrestre alta e attendere la prossima missione. I motori ionici e il modulo abitabile possono essere utilizzati parecchie volte.

Dopo alcune missioni asteroidali della durata di un anno, miglioramenti incrementali dei sistemi di supporto vitale e degli scudi antiradiazioni prepareranno la via verso Marte. Ma la prima missione marziana potrebbe non essere diretta verso il pianeta: probabilmente esplorerà invece i suoi due satelliti, Phobos e Deimos. Una spedizione simile è, in sostanza, una missione asteroidale prolungata a due anni e mezzo tra andata e ritorno. A prima vista può apparire sciocco arrivare fino a Marte e non scendere sulla sua superficie, ma l'atterraggio complicherebbe enormemente la missione. L'esplorazione dei satelliti marziani permetterà agli astronauti di fare esperienza di volo interplanetario prima di affrontare la sfida di scendere su Marte, muoversi su di esso e poi ripartire.

NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

Oltre l'orbita bassa

Il nuovo paradigma per l'esplorazione umana proposto dagli autori mette in primo piano flessibilità e sostenibilità. Anziché veicoli usa-e-getta come quelli impiegati finora, la NASA e i suoi partner potrebbero costruire un veicolo per lo spazio profondo riutilizzabile (basandosi sull'esperienza dello space shuttle e della Stazione spaziale internazionale). Il programma potrebbe partire intorno al 2024. L'assemblaggio, il collaudo e il lancio del veicolo saranno un processo in più fasi. Tra un volo e l'altro, la navicella resterebbe «parcheggiata» in orbita terrestre alta.



NASA (*Terra e Luna*)

Sono già state proposte diverse soluzioni tecniche per massimizzare la flessibilità e minimizzare i costi di una missione marziana. La più attraente prevede l'allestimento anticipato sulla superficie del Pianeta Rosso di moduli abitabili e di esplorazione, in modo che al loro arrivo gli astronauti trovino una base già pronta. Questi materiali possono essere inviati con trasporti lenti (a propulsione ionica). Una volta giunte a destinazione, le apparecchiature produrranno direttamente propellente su Marte, o distillando l'anidride carbonica atmosferica e miscelandola a idrogeno portato dalla Terra per sintetizzare metano e ossigeno, o elettrolizzando l'acqua del permafrost per generare idrogeno liquido e ossigeno. Inviando per il viaggio di ritorno un razzo vuoto che potrà essere rifornito di combustibile *in situ*, i progettisti di missione possono ridurre drasticamente la massa che deve essere lanciata dalla Terra.

Il moto relativo della Terra e di Marte concede agli astronauti di trascorrere circa un anno e mezzo (terrestre) sulla superficie prima che i due pianeti tornino ad allinearsi, cosicché essi avranno tempo in abbondanza per l'esplorazione. Al termine del loro soggiorno saliranno su un veicolo di lancio rifornito di combustibile prodotto localmente, raggiungeranno l'orbita marziana, si trasferiranno sul veicolo per lo spazio profondo derivato dalle missioni asteroidali e torneranno a Terra. Il veicolo potrebbe addirittura essere inserito su una traiettoria che lo porti in un'orbita comprendente la Terra e Marte, sfruttando per la propulsione gli effetti di spinta gravitazionale.

Anche nell'ipotesi del collocamento anticipato dei materiali per la base, il lander marziano e il razzo per il ritorno saranno estremamente pesanti e richiederanno il più grande dei vettori SLS in programma. Ma le prime missioni nello spazio profondo possono sfruttare componenti più piccoli, lanciabili con i primi SLS o anche con i razzi attuali. L'approccio graduale che raccomandiamo massimizzerà la capacità del programma di adattarsi alle varie situazioni e consentirà alla NASA di concentrarsi sulla soluzione dei problemi veramente difficili, come la schermatura antiradiazioni.

Oggi la NASA ha la migliore opportunità in questa generazione di porsi come obiettivo lo sviluppo di nuovi tipi di veicoli spaziali capaci di raggiungere lo spazio interplanetario. I maggiori ostacoli all'esplorazione spaziale non sono di natura tecnica, ma consistono nel capire in che modo si possa realizzare di più con meno risorse. Se la NASA programmerà una sequenza incrementale di sviluppi tecnologici e di missioni via via più ambiziose, sarà possibile effettuare per la prima volta dopo quarant'anni voli con equipaggio che vadano oltre l'orbita terrestre bassa, e l'esplorazione umana dello spazio entrerà nella sua fase più entusiasmante. Grazie alla strategia flessibile, la NASA potrà aprire la via verso le stelle. ■

PER APPROFONDIRE

Plymouth Rock: An Early Human Mission to Near Earth Asteroids Using Orion Spacecraft. Hopkins J. e altri, presentato all'AIAA Space 2010 Conference & Exposition, 30 agosto-2 settembre 2010, **http://tinyurl.com/PlymouthRockNEO.**

Target NEO: Open Global Community NEO Workshop Report. Barbee B.W. (*a cura*), resoconto di una conferenza tenuta alla George Washington University, 22 febbraio 2011; 28 luglio 2011, **www.targetneo.org.**

Near-Earth Asteroids Accessible to Human Exploration with High-Power Electric Propulsion. Landau D. e Strange N., presentato all'AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Girdwood, Alaska, 21 luglio-4 agosto 2011, **http://tinyurl.com/ElectricPath.**

Near-Earth Asteroids. Brophy J. e altri, presentato alla 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, San Diego, 31 luglio-3 agosto 2011, **http://tinyurl.com/300kWSEP.**

Il paziente scienziato

Quando Ralph M. Steinman sviluppò un tumore al pancreas sperimentò su se stesso le teorie sul cancro e sul sistema immunitario che aveva elaborato. Visse più a lungo del previsto, ma non abbastanza per sapere di aver vinto il premio Nobel

di Katherine Harmon

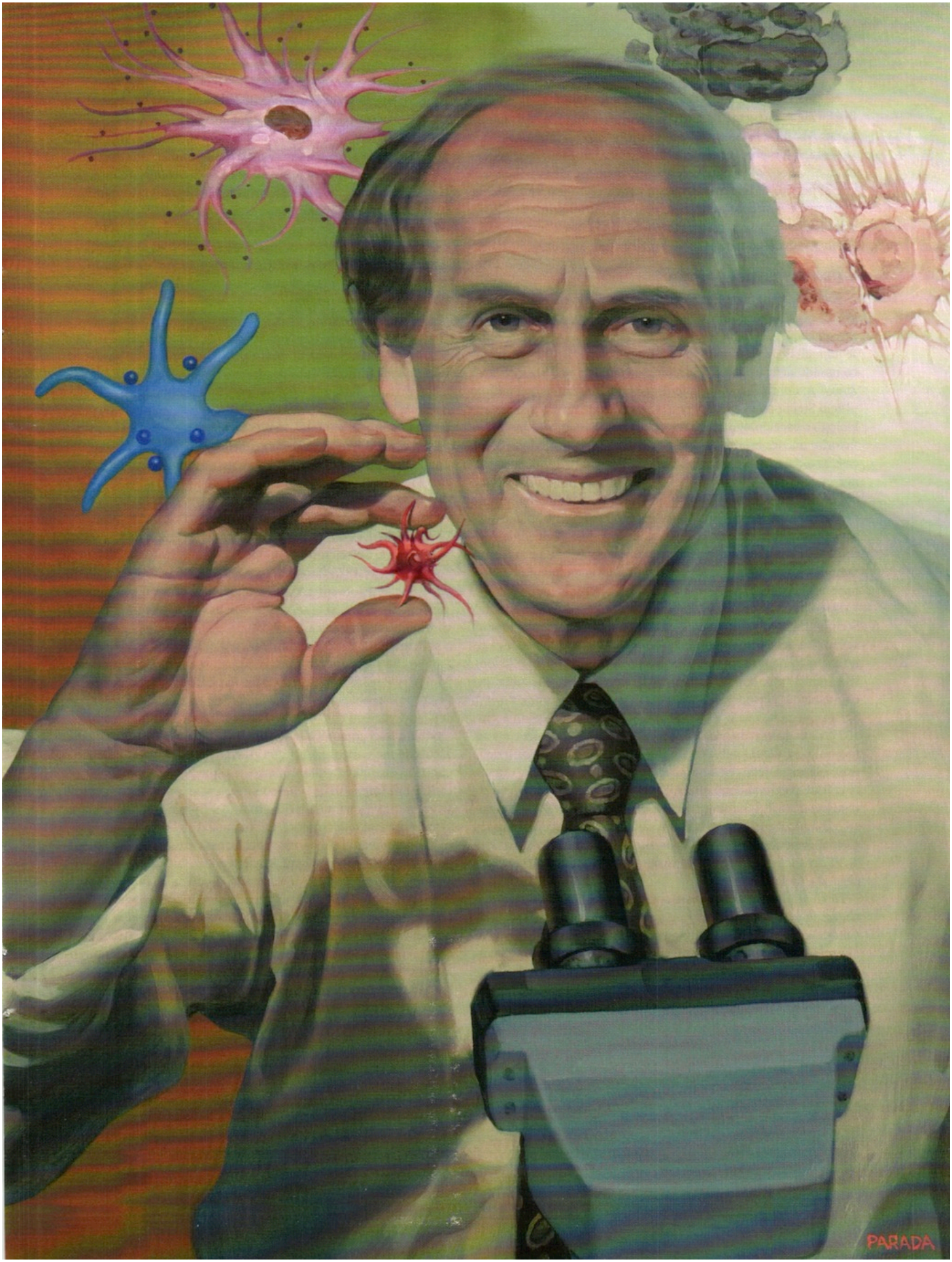
Un giorno, mentre osservava al microscopio una piastra con cellule in coltura, Ralph M. Steinman notò qualcosa che nessuno aveva mai visto. Erano i primi anni settanta, Steinman era un ricercatore della Rockefeller University, nell'Upper East Side di Manhattan. All'epoca gli scienziati stavano ancora cercando di mettere insieme gli elementi di base del sistema immunitario. Avevano capito che c'erano i linfociti B, cioè leucociti, o globuli bianchi, che aiutano a identificare gli invasori che aggrediscono l'organismo, e che c'erano i linfociti T, un altro tipo di leucociti che aggredisce gli invasori. Tuttavia ancora non riuscivano a capire che cosa spingesse all'azione i linfociti T e B. Steinman aveva osservato di sfuggita quello che pensava essere l'anello mancante: uno strano tipo di cellula dai prolungamenti affusolati, diversa da tutte quelle che aveva visto fino a quel momento.

La sua intuizione si rivelò corretta. Oggi si ritiene che le cellule dendritiche, come le ha chiamate Steinman, abbiano un ruolo cruciale nello scoprire gli invasori dell'organismo e nell'avviare la risposta immunitaria che li combatte. Le cellule dendritiche intercettano gli intrusi con le proprie estensioni ramificate, li ingeriscono e li trasportano ad altri tipi di cellule immunitarie istruendole, di fatto, su che cosa attaccare. Fu una scoperta epocale, grazie alla quale fu possibile spiegare il modo in cui funzionano i vaccini con un dettaglio senza precedenti, che proiettò Steinman fra i migliori della sua professione.

Per molti versi, quella di Steinman è una storia classica: uno scienziato brillante che compie una scoperta sensazionale in grado di ispirare una nuova generazione di ricercatori. In effetti, il suo intuito è stato davvero notevole per le implicazioni che ne sono seguite sia per la scienza sia per lo stesso Steinman.

Con il passare degli anni, Steinman si convinse che le cellule dendritiche fossero un'arma decisiva per contrastare alcune delle malattie più odiose, dal cancro all'HIV. Con la sua rete globale di collaboratori sembrava sulla buona strada per dimostrare che l'intuizione fosse corretta, ma la storia prese una piega inattesa.

Illustrazione di Roberto Parada


PARADA

Nel 2007 gli fu diagnosticato un tumore al pancreas, malattia implacabile che uccide quattro pazienti su cinque nel giro di un anno. Alla fine le cellule che aveva scoperto all'inizio della sua carriera, e gli amici che si era fatto strada facendo, lo avrebbero aiutato non solo a combattere il suo male ma gli avrebbero anche allungato la vita quanto basta per ricevere il premio Nobel. Steinman è morto nel settembre 2011, tre giorni prima che il suo cellulare squillasse per avvertire la famiglia che aveva ricevuto l'ambito riconoscimento.

Una mente preparata

Steinman non aveva mai studiato una biologia che fosse degna di questo nome fino al giorno in cui giunse, da studente, alla McGill University. Non appena si cimentò con la materia ne rimase ammaliato, e fu proprio questa fascinazione per il microscopico mondo delle cellule immunitarie a condurlo nel laboratorio di Zanvil A. Cohn, alla Rockefeller University. In seguito, nel proprio ufficio Steinman avrebbe appeso una citazione del famoso microbiologo e vaccinologo del XIX secolo, Louis Pasteur: «Le hasard ne favorise que les esprits preparés», che viene spesso tradotta in: «Il caso favorisce solo le menti preparate». Come dice Sarah Schlesinger, che per lungo tempo fu collega e amica di Steinman: «Ralph era estremamente preparato, quindi in qualche modo era pronto per fare una scoperta. Detto questo, però, aveva intuito che queste cellule erano importanti», spiega riferendosi alle cellule dendritiche. L'intuizione e la fiducia nell'osservazione permisero a Steinman di arrivare alla scoperta epocale, guadagnando l'ammirazione dei colleghi.

Dopo aver osservato per la prima volta le cellule dendritiche, Steinman passò i successivi vent'anni a convincere la comunità scientifica della loro importanza, definendo il modo in cui operano e come i ricercatori avrebbero potuto sfruttarle nel loro lavoro. «Ha combattuto, non c'è davvero altra espressione più adatta, per convincere le persone che si trattava di un'entità distinta», osserva Schlesinger, che iniziò a lavorare nel laboratorio di Steinman nel 1977, quando era ancora una studentessa del liceo. Anche allora, racconta, i colleghi del suo laboratorio non erano convinti della reale esistenza delle cellule dendritiche, perché era difficile ottenere colture pure e abbondanti. All'epoca Steinman lavorava ancora al bancone, e Schlesinger ricorda un giorno in cui erano rimasti a esaminare le cellule insieme, seduti al microscopio doppio. «Semplicemente, adorava guardarle», dice la ricercatrice, sorridendo al ricordo. «C'era una gioia così grande in tutte le piccole scoperte che ha fatto».

Negli anni ottanta Steinman, che si era specializzato in medicina, iniziò a pensare al modo migliore per applicare la sua scoperta delle cellule dendritiche direttamente a fini terapeutici. Nei decenni successivi, in parallelo con il crescente riconoscimento da parte della comunità scientifica dell'esistenza di queste cellule, il suo laboratorio ampliò la gamma degli obiettivi, fino a includere la ricerca su vaccini a base di cellule dendritiche da usare contro HIV e tubercolosi, includendo anche ricerche su cure antitumorali. Nel caso di malattie quali influenza o vaiolo, che già si possono prevenire con vaccini, le persone sopravvissute all'esposizione naturale possono sviluppare un'immunità che dura tutta la vita. HIV, tubercolosi e cancro rappresentavano una sfida più impegnativa perché sembravano più abili nello sconfiggere il sistema immunitario e, nel caso dell'HIV, addirittura nel dirottare le cellule dendritiche inducendole a fare uno sporco lavoro. «Ralph direbbe "Dobbiamo essere più furbi di madre natura"», afferma Schlesinger. Il che significa aiutare le cellule dendritiche fornendo loro un'informazione più mirata sul virus o il tumore contro cui il sistema immunitario deve sferrare un attacco.

Negli anni novanta, lavorando con Madhav Dhodapkar, oggi alla Yale University, e con Nina Bhardwaj, attualmente all'Università di New York, Steinman mise a punto una procedura per estrarre cellule dendritiche dal sangue, caricarle con antigeni – frammenti proteici rivelatori – provenienti da infezioni come influenza e tetano, e inserirle nuovamente nell'organismo in modo da generare un'immunità più forte. Questa tecnologia è servita da punto di partenza per Provenge, vaccino contro il tumore alla prostata che è stato approvato nel 2010 ed è riuscito ad allungare la vita di pazienti terminali, anche se solo di pochi mesi.

L'esperimento finale

All'inizio del 2007 Steinman si trovava in Colorado per seguire un congresso scientifico, un viaggio che aveva trasformato in vacanza per tutta la famiglia. In quell'occasione, insieme alle figlie gemelle, aveva sofferto di gastroenterite, almeno così sembrava. Le figlie infatti si erano ristabilite in fretta, mentre Steinman continuava a stare male. Subito dopo essere tornato a casa iniziò a soffrire di itterizia. Verso fine marzo andò in ospedale per una tomografia computerizzata e i radiologi scoprirono un tumore al pancreas. Il cancro si era già diffuso ai linfonodi, e Steinman sapeva che le probabilità di sopravvivere erano esigue: circa l'80 per cento dei pazienti con tumore al pancreas muore entro un anno.

«Quando ci comunicò la notizia disse: "Non cercate su Google, ascoltate me"», ricorda la figlia Alexis. Si sentiva come se qualcuno l'avesse colpita allo stomaco. «Ci spiegò che, se da un lato si trattava di una malattia che non lascia scampo, dall'altro si trovava in una posizione privilegiata». A differenza di un qualsiasi paziente malato di tumore, Steinman aveva accesso a molti dei migliori immunologi e oncologi del pianeta e, forse ancora più importante, alle loro terapie più promettenti.

Quando Schlesinger venne a sapere la notizia ne fu sconvolta, e si unì rapidamente al suo mentore. Steinman, Schlesinger e il loro collega Michel Nussenzweig della Rockefeller University iniziarono a telefonare a colleghi di tutto il mondo. Steinman era convinto che il modo più sicuro per essere curato da qualsiasi forma tumorale fosse lo sviluppo di una risposta immunitaria contro il tumore, mediata proprio dalle cellule dendritiche che aveva scoperto. Avevano poco tempo a disposizione per dimostrare di avere ragione.

IN BREVE

Ralph M. Steinman ha descritto per primo le cellule dendritiche, che hanno un ruolo chiave nell'avviare le risposte immunitarie. Le ha chiamate così per le loro estensioni ramificate, simili ai rami degli alberi.

Le cellule dendritiche, che istruiscono le cellule immunitarie sugli obiettivi da attaccare, sono oggi protagoniste di numerosi vaccini sperimentali sviluppati per combattere tumori e HIV.

Quando a Steinman è stato diagnosticato un tumore del pancreas nel 2007, con l'aiuto di alcuni colleghi si è concentrato su questi nuovi vaccini per curare la sua malattia.

Secondo i colleghi, i vaccini hanno contribuito ad allungare la vita dello scienziato ben oltre la norma. Steinman è morto solo tre giorni prima di vincere il premio Nobel per la medicina o la fisiologia.

Una dose della sua medicina

Diversi trattamenti sperimentali antitumorali ricevuti da Steinman si basavano sulle cellule che aveva contribuito a scoprire e grazie alle quali avrebbe ricevuto il premio Nobel. Il sistema immunitario uccide costantemente le cellule tumorali. Ma quando un numero abbastanza elevato di queste cellule supera le difese naturali dell'organismo i tumori possono avere il sopravvento e ingannare le cellule immunitarie inducendole ad accettare gli aggressori come se fossero parte del corpo. Se le cellule dendritiche, che aiutano a innescare la risposta immunitaria, possono essere addestrate a riconoscere un tumore come oggetto estraneo da aggredire, potrebbero, in teoria, eliminare le cellule maligne.

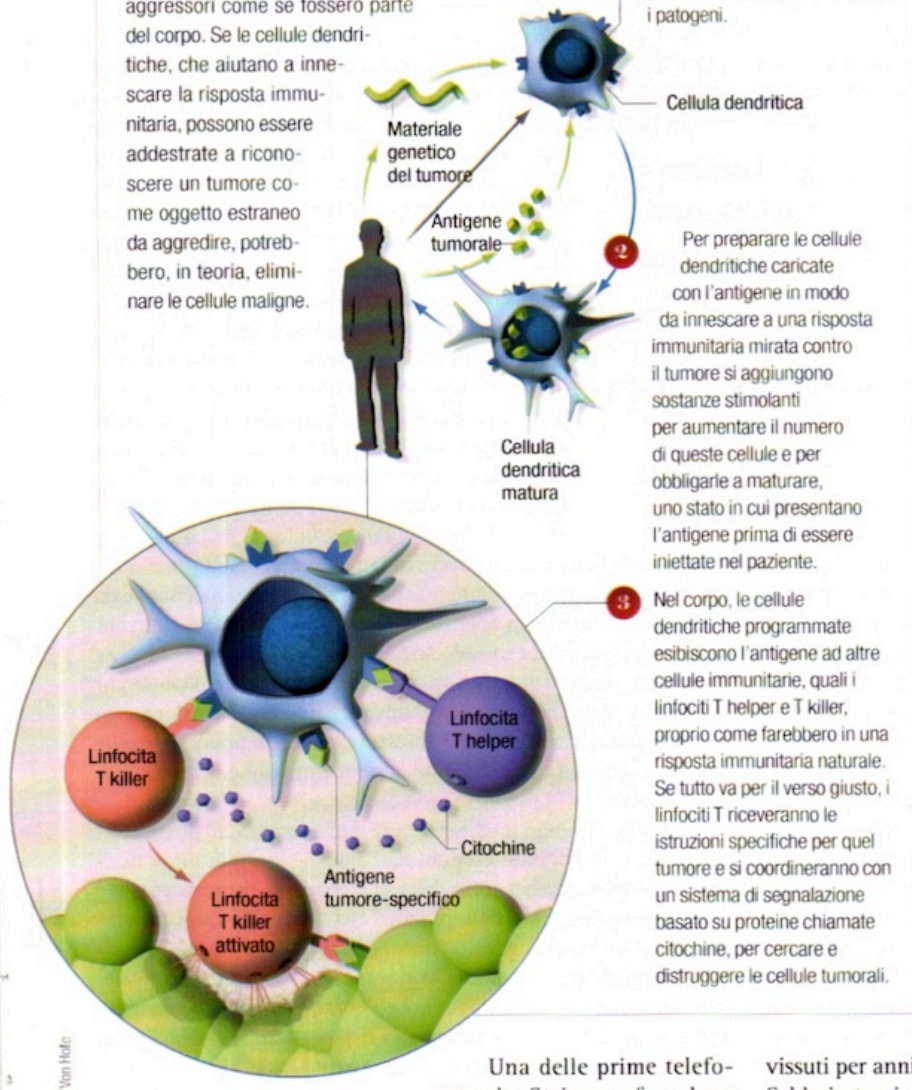


Illustrazione di Tami Tolpa; consulenza: Eric Von Hofe

Una delle prime telefonate che Steinman fece dopo la diagnosi era diretta al suo vecchio collaboratore Jacques Banchereau, attuale direttore del Baylor Institute for Immunology Research di Dallas. Banchereau telefonò a sua volta ad Anna Karolina Palucka, ricercatrice del Baylor, che conosceva Steinman dagli anni novanta. Palucka disponeva già di un vaccino sperimentale, ma doveva affrontare una sfida tutta personale, ovvero cercare di «tenere separati l'amico, il paziente e lo scienziato».

Dal canto suo, Schlesinger chiamò Charles Nicolette, amico e collaboratore per molti anni, direttore scientifico di Argos Therapeutics, azienda di Durham, nel North Carolina, che si occupava di RNA e di cui Steinman era stato co-fondatore. Nicolette, turbato dalle notizie, mobilitò i suoi colleghi pochi minuti dopo la telefonata ricevuta da Schlesinger.

Il gruppo di Nicolette aveva messo a punto un vaccino con cellule dendritiche, che era in trial di fase II, per curare il tumore al rene in fase avanzata. La terapia di Argos tenta di arruolare le cellule dendritiche del paziente contro il cancro, esponendole a materiale genetico, ottenuto dal tumore, che le induce a radunare i linfociti T per preparare un'adeguata risposta immunitaria.

Steinman era in lista per la rimozione di una porzione di pancreas nella prima settimana di aprile del 2007, un intervento chirurgico noto come procedura di Whipple, parte di un più tradizionale trattamento per prognosi come la sua. Nicolette aveva bisogno di quella massa tumorale per ricavare il vaccino, priorità che gli lasciò solo pochi giorni per ottenere dalla Food and Drug Administration l'autorizzazione a includere Steinman nel trial clinico, permesso che il gruppo riuscì ad assicurarsi appena in tempo.

Con le cellule tumorali messe al sicuro e la terapia di Argos in fase di preparazione, processo che avrebbe richiesto mesi, Steinman iniziò altre terapie. Subito dopo l'intervento chirurgico si iniziò una chemioterapia standard a base di gemcitabina e successivamente, alla fine dell'estate, prese parte a un trial clinico che prevedeva la somministrazione di GVAX, un vaccino a base di cellule dendritiche che era in fase di valutazione per la cura del tumore al pancreas.

Questo vaccino, messo a punto tra gli altri da Elizabeth Jaffee della Johns Hopkins University e somministrato al Dana Farber/Harvard Cancer Center, usa un antigene tumorale generico, proprio come Provenge, vaccino contro il cancro alla prostata. In un precedente trial di fase II i pazienti con cancro al pancreas che avevano ricevuto il vaccino vivevano in media quattro mesi in più rispetto a quelli che non vaccinati. Alcuni erano addirittura vissuti per anni. Così per due mesi, a partire dalla fine dell'estate, Schlesinger si recò a Boston insieme a Steinman quasi ogni settimana. «Ricordo che passeggiavamo a Boston in una giornata come questa», dice la ricercatrice, lasciando vagare lo sguardo fuori dalla finestra del suo ufficio, verso il cielo azzurro pallido di un pomeriggio di ottobre. «E che io pensavo "non arriverà al prossimo autunno". Mi sentivo così triste».

L'autunno arrivò e passò, Steinman era rimasto in uno stato di salute relativamente buono. Nel settembre 2007 ricevette l'Albert Lasker Basic Medical Research Award, un premio per la ricer-

ca medica di base ritenuto da molti il gradino che precede il Nobel. Steinman inoltre partecipò a una serie di interviste video nelle quali approfondì le ragioni per cui le cellule dendritiche promettevano di combattere il cancro, osservando che un attacco del sistema immunitario è estremamente preciso, altamente specifico e, a differenza della chemioterapia, non è tossico. «Credo che questo ponga le basi per un tipo totalmente nuovo di terapia contro il cancro», dichiarò Steinman. «Ma abbiamo bisogno di ricerca e di pazienza per scoprire regole e principi».

All'epoca Steinman mostrò più pazienza di quanto avrebbero voluto i suoi colleghi. Inizialmente aveva chiesto di potersi sottoporre a un ciclo terapeutico molto lento, in modo che il suo gruppo potesse monitorare le risposte immunitarie dopo ogni ciclo prima di iniziare quello successivo. Ma Schlesinger e Nussenzweig alla fine lo convinsero del fatto che non aveva tempo. Se fosse morto, l'esperimento e la raccolta di dati sarebbero terminati.

Nel novembre 2007 il vaccino di Argos, preparato con cellule prelevate dal sangue di Steinman e con RNA estratto dal tumore, era pronto e in attesa di essere testato. Steinman aveva appena finito un ciclo di chemioterapia e iniziò a partecipare al trial di Argos sul carcinoma cellulare renale, seguendo un protocollo sperimentale studiato per un singolo paziente.

All'inizio del 2008 Steinman proseguì con il vaccino sviluppato da Palucka contro il melanoma. Quel vaccino conteneva specifici peptidi del tumore (ovvero frammenti di proteine), quindi Palucka pensò di poterlo sfruttare per combattere il cancro di Steinman usando peptidi del tumore dello scienziato al posto degli antigeni ottenuti dal melanoma.

Altre offerte di terapie sperimentali arrivarono da ogni parte del mondo. «Tutti quelli che potevano farlo offrivano il meglio di cui disponevano», commenta Palucka. I decenni di ricerche condotte da Steinman in collaborazione con altri gruppi avevano unito il settore, e ora quella stessa rete di ricercatori faceva fronte comune per aiutare un collega in difficoltà. «Le persone pensano che la scienza sia un processo solitario. Di fatto, è un processo estremamente sociale», afferma Schlesinger. La «natura sociale del nostro lavoro facilitava la disponibilità di queste grandiose risorse intellettuali».

Oltre a una terapia standard, Steinman finì per essere arruolato – con uno speciale provvedimento – in quattro trial clinici relativi a diverse terapie anticancro a base di cellule dendritiche, la maggior parte delle quali non veniva nemmeno testata per il cancro al pancreas, insieme ad altre diverse immunoterapie sperimentali e trattamenti chemioterapici. Schlesinger, che era membro dell'Institutional Review Board (IRB) della Rockefeller University, indirizzò la cura di Steinman attraverso tutti i necessari canali dell'IRB e della Food and Drug Administration, accertandosi che fossero seguiti i protocolli standard. Inoltre proprio Schlesinger diede a Steinman i suoi vaccini ogni volta che avrebbero potuto essere somministrati alla Rockefeller University.

Steinman condusse il proprio grandioso esperimento allo stesso modo in cui aveva condotto gli altri esperimenti di laboratorio: raccogliendo sempre i dati con attenzione, valutando le prove e dando istruzioni. Schlesinger ha ancora montagne di e-mail di quel periodo, messaggi di risposta di Steinman scritti a caratteri maiuscoli, com'era nel suo stile. Il medico tenne registri particolarmente dettagliati su come il suo corpo reagiva alle cure. Nel 2008 Palucka andò a New York per una visita, proprio durante il periodo in cui Steinman era in cura con la sua terapia. Dopo che Steinman ricevette la dose di vaccino da Schlesinger i tre uscirono insieme a cena. Mentre stavano finendo di mangiare Steinman insistette per fermarsi presso l'albergo dove alloggiava Palucka, in modo da poter mostrare loro il livido che gli si stava formando sulla gamba, intorno al punto di inoculo. «Era così entusiasta», ricorda Schlesinger. «Diceva "Quelli sono linfociti T" – suggerendo che il suo corpo stava avendo una risposta immunitaria al vaccino – "è fantastico!"».

Il gonfiore locale dimostrava che il corpo di Steinman stava reagendo al vaccino, anche se Palucka non poteva essere certa che si trattava di linfociti T specifici per il tumore e mobilizzati dalla cura. Come sottolinea la ricercatrice, tutti i vaccini funzionano grazie alle cellule dendritiche, ma la differenza fra la sua e le altre terapie provate da Steinman era che invece di lasciare l'esposizione al caso i ricercatori manipolavano le cellule dendritiche fuori dell'organismo in modo da aumentare le probabilità che addestrassero i linfociti T ad aggredire il tumore. Quando Schlesinger non era disponibile e non poteva osservare di persona le prove, ricorda Palucka, «mi mandava le descrizioni dei siti di inoculo del vaccino con grande entusiasmo», includendo anche informazioni sull'aspetto e le dimensioni dei siti, oltre che la sensazione che provava in ogni singolo punto.

Le buone notizie per lo Steinman paziente non erano mai abbastanza buone per lo Steinman scienziato

Il suo marcatore tumorale, il livello di una proteina che indica la progressione di un tumore (che fluttuò durante tutta la terapia), diventò un barometro del suo atteggiamento. Quando i valori del marcatore scesero per la seconda volta Steinman inviò un'e-mail con oggetto la seguente frase: «Abbiamo ripetuto l'esperimento», che sprizzava una gioia ben evidente a coloro che conoscevano la sua felicità per un successo scientifico. Ma le buone notizie per lo Steinman paziente non erano mai abbastanza buone da soddisfare lo Steinman scienziato. La consapevolezza del fatto che il suo esperimento su un solo soggetto difficilmente poteva essere definito scientifico lo frustrava profondamente. Dato che le cure sperimentali venivano somministrate in tempi vicini, ed erano alternate a chemioterapie tradizionali, era impossibile capire che cosa avesse fatto abbassare la concentrazione del marcatore tumorale.

Tuttavia Steinman produsse alcuni dati sperimentali interessanti. Durante uno dei test eseguiti da Palucka per monitorare la risposta immunitaria nel corso della sua terapia, la ricercatrice trovò che circa l'8 per cento dei linfociti T del tipo chiamato CD8 erano diretti in modo specifico contro il tumore di Steinman. Quella percentuale può sembrare poco significativa, ma se si considerano tutti i potenziali patogeni che l'organismo può incontrare e contro i quali si può innescare una risposta immunitaria, l'8 per cento «è un numero enorme», sostiene Schlesinger. «Dunque qualcosa, o forse una combinazione di elementi, aveva immunizzato Steinman».

La morte, troppo presto

A giugno 2011 Steinman e sua moglie Claudia fecero un viaggio in Italia per festeggiare il loro quarantesimo anniversario di matrimonio, proprio due mesi dopo quello che lo scienziato chiamava il suo quarto «Whipple-anniversario», in onore dell'intervento chirurgico dell'aprile 2007. Steinman aveva già abbondante-

Un importante (auto)esperimento

Dopo la diagnosi di tumore, Steinman ha ricevuto un gran numero di offerte da amici e colleghi, che gli proponevano di provare diverse cure sperimentali. Dopo aver esaminato i dati e discusso le varie possibilità con i suoi collaboratori, Steinman scelse diverse nuove immunoterapie che erano in fase di valutazione in trial clinici a cui poté partecipare come paziente speciale, invece di aderire sulla base dei protocolli originari degli sperimentatori. Questi vaccini, alcuni dei quali modulati proprio sul tumore di Steinman, furono alternati con sessioni tradizionali e sperimentali di chemioterapia.

Estate-autunno 2007
Vaccino a base di cellule dendritiche GVAX per il tumore al pancreas sviluppato alla Johns Hopkins University e somministrato al Dana Farber/Harvard Cancer Center.

Tardo 2007
Terapia di inibizione dei segnali cellulari, in trial della Genentech; tentativi di frenare l'anormale comunicazione cellulare che può alimentare la crescita tumorale.

Inverno 2007 fino a primavera 2008
Vaccino a base di cellule dendritiche di Argos, in via di sviluppo per il tumore ai reni.

Dal 2008 al 2010
Vaccino con cellule dendritiche per il melanoma, sviluppato alla Baylor University.

Metà 2010
Iniezione di peptidi dal vaccino della Baylor, in combinazione con Hiltonol, stimolante sperimentale del sistema immunitario, prodotto da Oncovir, che attiva il sistema immunitario in parte stimolando il rilascio della molecola segnale interferone.

Inverno ed estate 2010
Ipilimumab di Bristol-Myers-Squibb, anticorpo monoclonale (cioè proteina che si lega a un obiettivo specifico); approvato il trattamento del melanoma dalla Food and Drug Administration.

mente superato la sopravvivenza media di una persona con questo tipo di tumore.

A metà settembre 2011 Steinman stava ancora lavorando in laboratorio e stava addirittura discutendo con Nicolette la possibilità di cominciare di nuovo il trattamento Argos quando si ammalò di polmonite. «Al momento del ricovero in ospedale disse "Potrei non uscire mai più di qui"», ricorda la figlia Alexis. Ma dopo quei quattro anni e mezzo trascorsi dal padre in buona salute le fu difficile credere che le rimanevano solo pochi giorni da trascorrere insieme. Venerdì 30 settembre, all'età di 68 anni, Steinman moriva a causa di un'insufficienza respiratoria causata dalla polmonite, che il suo organismo già indebolito dal cancro non riusciva più a contrastare.

La famiglia pensò a lungo prima di decidere come informare la vasta rete di amici e colleghi in tutto il mondo. Scelsero di visitare il suo vecchio laboratorio, in cui Steinman aveva lavorato fino a poco prima di morire, per informare i ricercatori che si trovavano lì lunedì 3 ottobre. Ma quella mattina di buon'ora, prima che qualcuno della famiglia si svegliasse, arrivò la chiamata da Stoccolma. Il Blackberry di Steinman, con la suoneria spenta, era vicino alla moglie. Nel dormiveglia della prima mattina la donna diede un'occhiata al telefono e si accorse di un nuovo messaggio che lampeggiava. Proprio in quel momento arrivò un'e-mail, che comunicava a Steinman di aver ricevuto il premio Nobel 2011 per la medicina o la fisiologia. La prima reazione fu che «tutti insieme maledicemmo questo dannato mondo», dice Alexis. Il suo pensiero successivo fu: «Andiamo a svegliare papà».

Ma per il resto del mondo non c'era nulla di sbagliato nell'annuncio del comitato Nobel: si scrissero articoli, vennero rilasciate dichiarazioni su Steinman e gli altri due premiati, Bruce Beutler, dello Scripps Research Institute, e Jules Hoffmann, del francese Centre National de la Recherche Scientifique, fino a poche ore dopo, quando iniziò a circolare la notizia della morte dello scienziato. Le regole del premio Nobel stabiliscono che il riconoscimento non può essere assegnato postumo, ma se un Nobel muore tra l'annuncio di ottobre e la cerimonia di consegna del premio in dicembre, può restare in lista. Questa bizzarra tempistica costrinse il comitato Nobel a un'attenta riflessione poco prima dell'annuncio ufficiale, a giorno ormai inoltrato, in cui si confermava il premio a Steinman.

Qualche giorno dopo l'annuncio del Nobel e dopo che la notizia della morte dello scienziato aveva catturato i titoli dei giornali, il tumore al pancreas si è portato via anche Steve Jobs, co-fondatore e CEO di Apple. Jobs, malato di una forma rara e a crescita più lenta – un tumore neuroendocrino – è vissuto per otto anni dopo la diagnosi, più della media di un paziente con la sua forma di malattia. La sopravvivenza di Steinman, tuttavia, ha sorpassato di gran lunga le attese. «Non c'è dubbio: qualcosa gli ha prolungato la vita», afferma Schlesinger.

Attualmente i ricercatori stanno cercando di capire che cosa abbia allungato la vita del loro collega premio Nobel. La Baylor University inaugurerà il Ralph Steinman Center for Cancer Vaccines, Palucka sta sviluppando un trial clinico per curare pazienti con tumore al pancreas, usando lo stesso vaccino che aveva contribuito a creare per Steinman. Nicolette sta cercando di ottenere il vaccino contro il cancro ai reni lavorando a pieno ritmo: «C'è un senso del dovere verso Ralph nel cercare di raggiungere l'obiettivo». A breve prevedono di avviare un trial clinico di fase III per il vaccino contro il cancro al rene testato da Steinman.

Schlesinger ritiene che gli interventi della sua collega abbiano dato un contributo. «Il messaggio scientifico è: l'immunità fa la differenza», afferma. Ma alla fine la lezione è una di quelle che a Steinman piaceva insegnare: «Di solito alle persone diceva: "Ci sono ancora tante altre cose da scoprire"», ricorda Schlesinger. «E ce ne sono davvero». ■

PER APPROFONDIRE

Identification of a Novel Cell Type in Peripheral Lymphoid Organs of Mice, Vol. 1: Morphology, Quantitation, Tissue Distribution. Steinman R.M. e Cohn Z.A., in «Journal of Experimental Medicine», Vol. 137, n. 5, pp. 1142-1162, maggio 1973. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2139237.

Taming Cancer by Inducing Immunity via Dendritic Cells. Palucka A.K. e altri, in «Immunological Reviews», Vol. 220, n. 1, pp. 129-150, dicembre 2007. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-065X.2007.00575.x/full.

Dendritic Cell-Based Vaccination of Patients with Advanced Pancreatic Carcinoma: Results of a Pilot Study. Bauer C. e altri, in «Cancer Immunology, Immunotherapy» Vol. 60, n. 8, pp. 1097-1107, agosto 2011. www.springerlink.com/content/t56q865742198411.

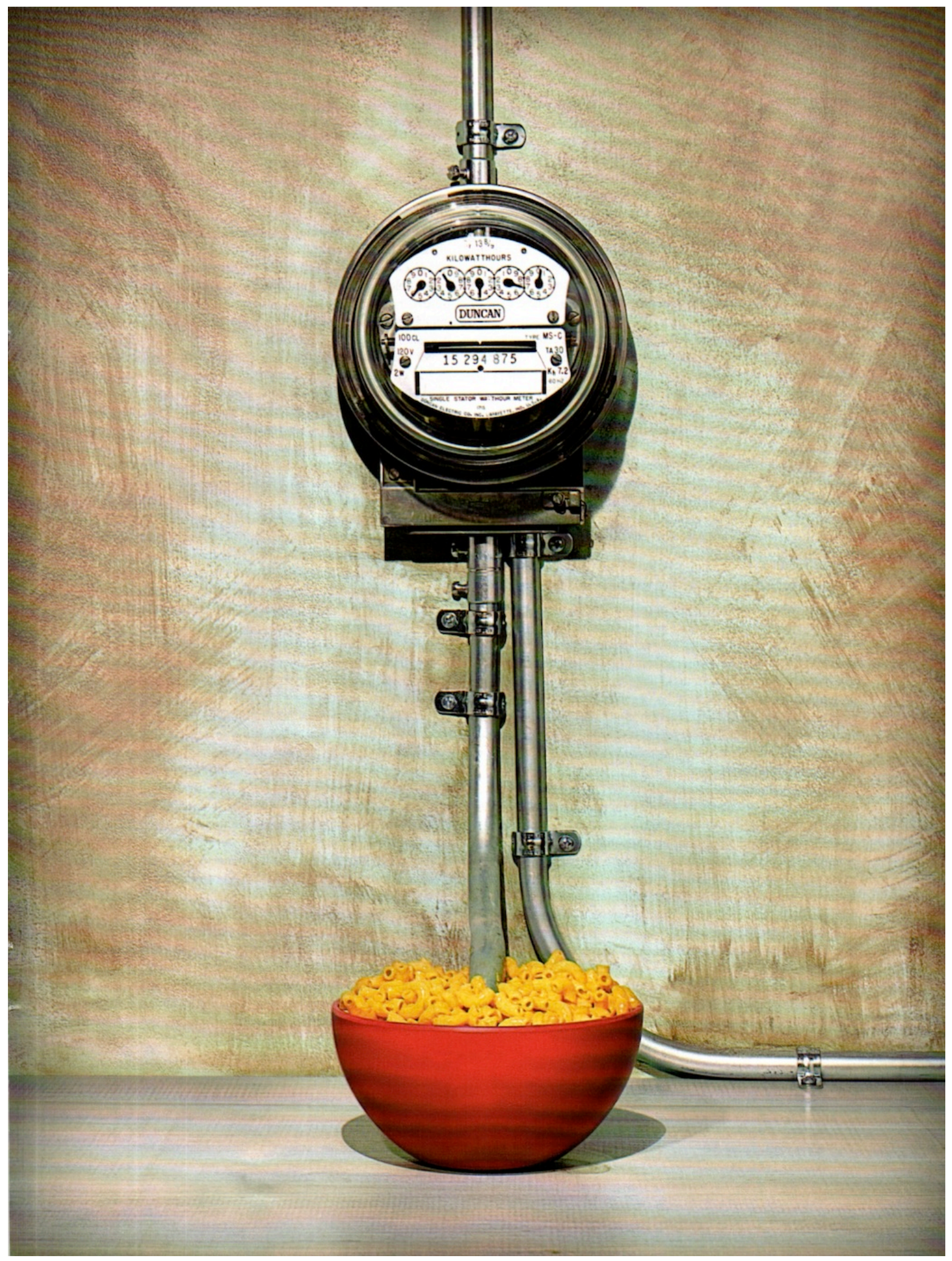
SOSTENIBILITÀ

Più cibo, meno energia

Produrre più cibo con meno energia e quindi con meno emissioni di gas serra è possibile, ma sono necessari cambiamenti nelle tecniche agricole, nelle politiche e nei comportamenti delle persone

di Michael E. Webber

Dan Saelinger


KILOWATTHOURS
DUNCAN
100 CL
120 V
2 W
TYPE MS-C
TA 30
Kh 7.2
15 294 875

Michael E. Webber è il direttore associato del Center for International Energy and Environmental Policy e *assistant professor* di ingegneria meccanica all'Università del Texas ad Austin.

Da oltre cinquant'anni combustibili fossili e fertilizzanti sono ingredienti essenziali per la crescita globale della produzione e della distribuzione di alimenti. Fino a oggi il rapporto tra cibo ed energia è stato buono, ma sta per entrare in una nuova era. La produzione alimentare sta crescendo sensibilmente, quindi è necessaria una maggiore quantità di combustibili fossili e di fertilizzanti a base di azoto; entrambi rendono ancora più grave il riscaldamento globale e l'inquinamento di fiumi e oceani, oltre a numerosi altri problemi. Al tempo stesso, molte nazioni cercano faticosamente di ridurre la domanda di energia, in particolare dei combustibili fossili.

Le politiche di riduzione del consumo energetico si concentrano soprattutto su trasporti, centrali elettriche e costruzioni, spesso trascurando la filiera alimentare. Negli Stati Uniti il 10 per cento circa deldell'energia consumata è impiegato per produrre, distribuire, lavorare, preparare e conservare gli alimenti di origine animale e vegetale che consumiamo. È una grossa fetta della torta energetica.

Un'analisi del consumo energetico della filiera alimentare rivela opportunità per politiche intelligenti, tecnologie innovative e nuove scelte alimentari che potenzialmente sono in grado di risolvere contemporaneamente i problemi alimentari e quelli energetici. Le stesse opportunità migliorerebbero la nostra salute e quella dei nostri ecosistemi.

L'inefficienza tra la fattoria e la tavola

Basta qualche numero per dimostrare che la produzione alimentare è un processo inefficiente. La crescita delle piante non è efficiente dal punto di vista energetico: in genere la fotosintesi converte meno del 2 per cento dell'energia solare ricevuta in energia immagazzinata. Questo tasso peggiora ulteriormente quando gli animali trasformano la materia vegetale in carne di manzo (efficienza dal 5 al 10 per cento) o di pollo (dal 10 al 15 per cento). Quindi mangiamo questi alimenti e li trasformiamo in energia, immagazzinata sotto forma di glicogeno nei muscoli e di grassi, per esempio intorno all'addome.

Data l'abbondanza di fotoni che colpiscono la Terra ogni giorno, queste basse efficienze non sembrano rilevanti. Ma se si considera la disponibilità limitata di terra e di acqua dolce, il deflusso dei fertilizzanti, il prezzo dei combustibili e le emissioni, allora le inefficienze possono diventare un incubo. La quantità di energia usata per produrre cibo è enormemente più grande rispetto a quella che ne ricaviamo. Gli Stati Uniti impiegano circa dieci unità di energia fossile per produrre un'unità di energia alimentare.

L'entità di questo consumo è evidente quando si considera tutta la popolazione. Il consumo istantaneo di un uomo adulto, sano e attivo è circa 125 watt, equivalenti a circa 2500 calorie alimentari al giorno, cioè circa 10.500 chilojoule. Così 312 milioni di statunitensi hanno bisogno di circa 1,1 exajoule (un exajoule equivale a un milione di miliardi di joule) di energia alimentare in un anno. Poiché usiamo dieci unità di energia fossile per produrre un'unità di energia alimentare, per alimentare la popolazione sono necessari 11 exajoule, cioè il 10 per cento del consumo energetico totale annuale degli Stati Uniti, intorno ai 110 exajoule. Se vogliamo ridurre il nostro consumo di energia alimentare dobbiamo trovare qualche metodo per ridurre il rapporto 10:1 tra l'energia impiegata e quella ricavata con gli alimenti.

Per alimentare i 7 miliardi di abitanti della Terra sono necessari 30 exajoule all'anno, equivalenti a solo il 5 per cento dei 600 exajoule consumati globalmente, sempre in un anno. Non significa che il resto del mondo sia più efficiente degli Stati Uniti, ma che un miliardo di persone sono denutrite, un altro miliardo è a rischio di denutrizione e tante altre non consumano molto.

L'ampio uso di energia ha permesso uno straordinario aumento della produzione alimentare grazie a innovazioni come i trattori a gasolio, le pompe di irrigazione elettriche, i fertilizzanti e i pesticidi ricavati da gas naturale e petrolio. Dalla metà del XX secolo i raccolti ottenuti con questa rivoluzione verde sono cresciuti notevolmente, e abbiamo trasformato deserti come la Central Valley della California in distese di frutteti. Al tempo stesso la percentuale di lavoratori necessari all'agricoltura è diminuita notevolmente.

Inoltre l'energia a basso costo, in particolare il petrolio, ha creato reti di trasporti che hanno migliorato di parecchio la distribuzione alimentare, portandoci prodotti inattesi come insalate e arance fresche in pieno inverno, provenienti dagli angoli più remoti del pianeta. Per conservare e preparare gli alimenti consumiamo ancora più energia.

Quando i prezzi dei combustibili fossili erano bassi e non ci interessavano molto l'inquinamento o le emissioni non ci preoccupavamo dello spreco di energia. Adesso che i prezzi sono aumentati e siamo più sensibili all'impatto ambientale dobbiamo migliorare quel rapporto 10:1. Negli Stati Uniti l'inefficienza potrebbe addirittura peggiorare, dato che sempre più persone, grazie all'aria condizionata a basso costo, si trasferiscono in zone la cui produzione alimentare locale può sostenere solo una piccola parte di una popolazione in crescita. In questi casi si usa ancora più energia, per rendere produttivi terreni poco fertili con fertilizzanti e irrigazione dal forte consumo energetico, o per trasportare gli alimentari da mercati lontani.

Gli andamenti globali peggioreranno queste difficoltà. Entro il 2050 la popolazione mondiale crescerà fino a superare quota 9 miliardi. Crescerà anche il consumo pro capite di energia e alimenti: per esempio, con l'aumentare della ricchezza delle persone aumenta anche il loro consumo di carne, la cui produzione ha un'intensità energetica maggiore di quella di altri alimenti. E a causa del

IN BREVE

Il 10 per cento del consumo energetico statunitense serve a produrre, distribuire, lavorare, preparare e conservare gli alimenti di origine vegetale o animale.

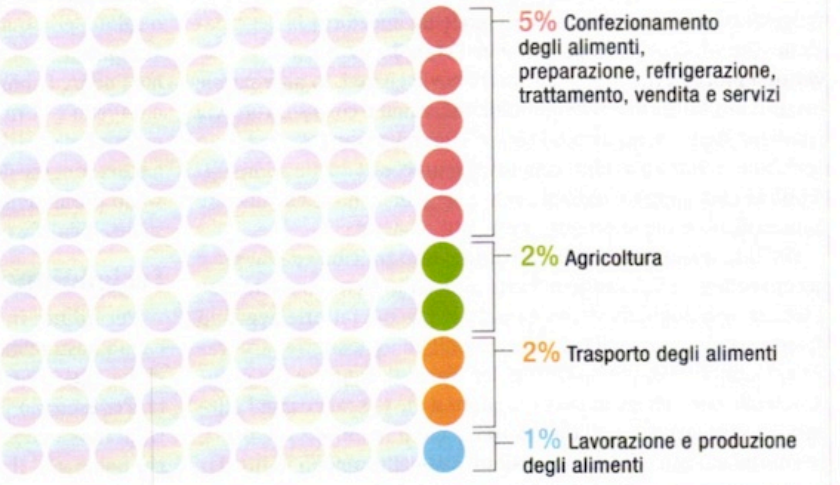
L'uso dell'energia si può ridurre trasformando in elettricità i rifiuti agricoli; adottando nuove tecniche agricole come l'irrigazione a goccia, la semina senza lavorazione, il livellamento laser dei campi e macchinari con GPS; riducendo gli alimenti scaduti e sprecati, che ammontano al 25-30 per cento di quelli prodotti; e mangiando meno carne, la cui produzione richiede molta energia.

Le stesse misure porterebbero vantaggi sia alla nostra salute sia a quella dei nostri ecosistemi.

Pagine precedenti: Laurie Rabb (*styling*)

Una grossa fetta della torta energetica

Il 10 per cento del bilancio energetico degli Stati Uniti è impiegato per produrre alimenti destinati ai 312 milioni di cittadini statunitensi. Una maggiore efficienza di produzione, trasporto, lavorazione e conservazione potrebbe ridurre la domanda, soprattutto di combustibili fossili.



Grafica: Jen Christiansen; fonte dati: Università del Texas ad Austin

cambiamento climatico la produzione alimentare sarà danneggiata dalla perdita di raccolti provocata da siccità e alluvioni, dall'intrusione di acqua salata nelle falde acquifere, da temperature più alte (che in molte aree ridurranno l'efficacia della fotosintesi) e dalla concorrenza dei biocombustibili per il terreno agricolo. Di conseguenza gli esperti prevedono che entro il 2050 la produzione alimentare dovrà raddoppiare.

L'agricoltura locale potrebbe essere inutile

Purtroppo considerare sotto l'aspetto energetico alcune «soluzioni» diffuse per la produzione alimentare dimostra che non sempre sono utili. Per esempio molte persone si sono unite al movimento per alimenti locali, definendosi «locavori», come antidoto all'energia usata per trasportare i prodotti su lunghe distanze e al grande consumo energetico dell'agricoltura industrializzata. Le campagne a favore degli alimenti locali incoraggiano all'acquisto di prodotti autoctoni da mercati degli agricoltori o da vicine fattorie basate sul sostegno della comunità.

Spendere denaro nella nostra comunità, invece di mandarlo lontano, può essere valido dal punto di vista economico, e un solido sistema alimentare locale permette una certa resistenza in caso di eventi imprevisti, come guerre o siccità. Ma le fattorie locali a volte usano terreni molto piccoli per coltivare prodotti non autoctoni che hanno bisogno di più sostanze ed energia per l'irrigazione, e ottengono comunque raccolti scarsi. Paradossalmente, il trasporto delle derrate per migliaia di chilometri a volte necessita di meno energia, emette meno anidride carbonica e provoca meno danni all'ambiente.

Per esempio, in genere allevare agnelli in Nuova Zelanda, dove si nutrono in pascoli bagnati dalla pioggia che non hanno bisogno di fertilizzanti o irrigazione, e spedirli nel Regno Unito richiede meno energia rispetto ad allevarli nel Regno Unito. Inoltre le grandi aziende agricole industrializzate, con campi livellati servendosi di laser (per ridurre al minimo le perdite di acqua e il deflusso di fertilizzante) e trattori con GPS (per ottimizzare l'uso del carburante e la densità delle coltivazioni), nelle quali si impiegano piante geneticamente modificate per usare una quantità minima di acqua, possono dimostrare un'efficienza nell'uso delle risorse incredibilmente maggiore rispetto a tante fattorie sparse che sono più vicine a casa ma usano acqua ed energia in modo inefficiente. Uno studio della Stanford University ha concluso che le multinazionali dell'agricoltura hanno ridotto fortemente le emissioni di gas serra grazie a miglioramenti nella produttività ed economie di scala. Inoltre le aziende agricole verticali urbane, o la produzione alimentare di alghe, attualmente in fase di prototipo, hanno il potenziale per una produzione di biomassa per metro quadrato di terra ancora più grande rispetto alle fattorie locali.

Alcune soluzioni apprezzate relative alle energie rinnovabili in realtà complicano il legame tra cibo ed energia. Materie prime alimentari come mais, soia, zucchero e palma dominano i mercati mondiali dei biocombustibili e creano una pericolosa concorrenza per il terreno agricolo e l'acqua dolce. Nel 2010 negli Stati Uniti circa 121.000 chilometri quadrati – oltre un quarto della produzione totale di mais – sono stati usati per produrre circa 48 miliardi di litri di etanolo. Questa quota aumenterà, dato che gli Stati Uniti puntano a sostituire il 20 per cento del combustibile fossile liquido per i trasporti con biocombustibili entro 2020.

Sfruttare i rifiuti

Nonostante le preoccupazioni relative al legame tra alimenti ed energia, c'è qualche motivo di ottimismo. Con varie politiche, innovazioni, scelte di mercato e culturali mirate a ridurre rifiuti e inefficienze, possiamo abbassare il rapporto 10:1, oltre a limitare i danni all'ambiente.

Un primo passo è smettere di usare mais per ricavare etanolo, come si fa invece negli Stati Uniti. Dovremmo usare il mais per l'alimentazione di persone e bestiame, e usare solo steli e foglie della pianta, costituiti da cellulosa, per produrre etanolo o combustibili sintetici. La politica energetica degli Stati Uniti prevede già una spinta in questa direzione. La legge del 2007 sull'indipendenza e la sicurezza energetica impone di produrre 136 miliardi di litri l'anno di biocombustibili entro il 2022, di cui 61 miliardi dovranno provenire da fonti cellulosiche. Quest'ultimo obbligo è una rara ammissione del fatto che il mais *non* è la soluzione dei problemi energetici; gli esperti prevedono che, a meno di ridurre la nostra capacità di alimentarci, possiamo produrre solo fino a 57 miliardi di litri l'anno con materie prime a base di mais coltivate sul terreno agricolo disponibile.

Il lancio aggressivo dei biocombustibili favorisce però le forme basate su colture alimentari, mentre quelle cellulosiche sono in ritardo di molti anni, perché più difficili da produrre. La natura ha progettato i materiali cellulosici in modo da impedirne la degradazione. Quindi degradarli per ricavare l'etanolo significa dover invertire i processi naturali, e questo richiede enzimi, in altre parole denaro: produrre enzimi in quantità industriali è costoso. Tuttavia possiamo superare gli ostacoli tecnici e prendere questa strada con decisione. Sfruttare le fonti cellulosiche invece di quelle alimentari può aiutare l'approvvigionamento energetico, ma anche liberare milioni di ettari per la produzione di altri alimenti.

Un'altra misura per migliorare il rapporto tra cibo ed energia è la conversione dei prodotti di scarto agricoli in elettricità. Il letame è una risorsa abbondante. In passato le piccole fattorie avevano diverse specie di animali e di coltivazioni; gli agricoltori spargevano nei campi il letame invece dei fertilizzanti. Oggi, con le grandi aziende che coltivano pochi prodotti a vasta scala e con l'allevamento intensivo, quell'operazione a circuito chiuso si è persa. Le enormi quantità di letame prodotte dagli allevamenti industriali superano di gran lunga qualsiasi domanda locale, ed è troppo costoso trasportarle in campagna fino alle grandi aziende. Questo sistema inoltre crea zone a rischio ambientale come i depositi di letame, che producono notevoli quantità di gas serra e rifiuti tossici. Questi depositi però sono ricchi di energia e anche numerosi: le aziende agricole statunitensi generano oltre un miliardo di tonnellate di letame all'anno.

La tecnologia da sola non basta, la rivoluzione verde non ha risolto il problema della fame

Digestori anaerobici e microturbine potrebbero convertire il letame in elettricità rinnovabile, generata dal biogas e con un basso livello di carbonio, sufficiente a fornire il 2,5 per cento dell'energia totale degli Stati Uniti, riducendo allo stesso tempo le emissioni di gas serra. Questo metodo inoltre creerebbe un'altra fonte di guadagno per gli agricoltori. Ricercatori di importanti istituti del settore agricolo, come la Texas A&M University e il Cornell University College of Agricultural and Life Sciences, studiano nuovi modi di includere la digestione anaerobica del letame nelle attività delle aziende agricole. Juehnde, un villaggio tedesco che collabora con Frank Mitloehner dell'Università della California a Davis, genera così tanto biogas per riscaldare e cucinare che è diventato indipendente dalla rete nazionale. I responsabili delle politiche potrebbero agevolare l'installazione di altri digestori e turbine, permettendo agli agricoltori di accedere a capitale a basso costo, creando incentivi come riduzioni delle imposte sulla proprietà per le attrezzature, offrendo informazioni e corsi in modo che i potenziali utenti sappiano come usare i sistemi e stabilendo uno scambio sul posto, cioè un sistema che permetta all'elettricità generata *in loco* di ridurre le bollette degli agricoltori.

Un altro flusso di rifiuti che può risparmiare energia alimentare riguarda l'anidride carbonica emessa dalle centrali a carbone. Si può sfruttare per coltivare le alghe destinate all'alimentazione umana e animale, e all'impiego come combustibile, evitando l'uso di alcune fonti energetiche tradizionali per la produzione agricola. Alcune persone già mangiano alghe per motivi dietetici, e alcune catene di ristorazione le usano come agente stabilizzante. Inoltre i lipidi delle alghe si possono convertire in biodiesel, fornendo un combustibile a basso livello di carbonio, rinnovabile e prodotto localmente con qualcosa di diverso dalle materie prime di tipo alimentare. Il residuo della biomassa delle alghe è costituito da proteine e carboidrati, che potrebbero sostituire i mangimi animali a base di mais, rendendo disponibile più mais per la nostra alimentazione e quindi contribuendo in modo positivo al legame tra cibo ed energia. Alcune alghe crescono facilmente in acqua salmastra o salata, eliminando così la domanda di acqua dolce. Sia l'industria privata sia laboratori statunitensi come il National Renewable Energy Laboratory e le università, come l'Università del Texas ad Austin e l'Università della California a San Diego, seguono programmi pilota. Anche se le soluzioni basate sulle alghe sembrano ancora lontane decenni dall'applicazione a vasta scala, il fatto che siano promettenti garantisce ulteriori ricerche, e per questo i responsabili delle politiche dovrebbero sostenerne lo sviluppo.

Irrigazione più efficiente

Per ridurre in modo significativo il rapporto 10:1 tra energia e cibo basterebbe applicare a una scala molto più grande le tecniche agricole innovative già perfezionate nei programmi pilota. Per esempio l'irrigazione a goccia ha un rendimento maggiore, permettendo di risparmiare acqua dolce e l'energia necessaria per pomparla. Il metodo tradizionale, gli irrigatori rotanti a pioggia che creano bizzarri cerchi verdi coltivati in mezzo a deserti marroni (facilmente visibili dagli aerei), comporta enormi sprechi, perché spruzza l'acqua in aria, dove in gran parte evapora. Le gocce che arrivano sulle piante spesso raggiungono foglie e steli invece delle radici, con un'ulteriore perdita per evaporazione. In genere un sistema di irrigazione a goccia è costituito da tubature lunghe e strette collocate alla base delle piante seminate in fila, che portano l'acqua alle radici. Alla Iowa State University, alcuni ricercatori hanno calcolato che grazie all'irrigazione a goccia i coltivatori di mais dell'Iowa ridurrebbero il consumo di acqua del 40 per cento e la spesa per l'energia del 15 per cento. Oggi diversi grandi produttori di attrezzature agricole offrono questi sistemi, che se usati ampiamente potrebbero ridurre il consumo elettrico statunitense di migliaia di megawattora all'anno. Incentivi per passare all'irrigazione a goccia, insieme a sanzioni per lo spreco di acqua, potrebbero accelerare l'adozione di questi sistemi.

Un altro metodo promettente è la semina senza lavorazione (*no-till farming*), che riduce lo stress del terreno usando una speciale attrezzatura per la semina che inserisce i semi nel terreno non lavorato attraverso strette fessure in superficie, invece che con il metodo impreciso che prevede di rivoltare il terreno. Un minore disturbo per il terreno riduce l'impiego di manodopera, irrigazione ed energia, oltre all'erosione e alle emissioni di carbonio. Il paese leader al mondo in questa tecnica è l'Argentina, dove ne fa uso oltre la metà delle aziende agricole. La formazione per gli agricoltori sui vantaggi della semina senza lavorazione si può realizzare con i servizi di divulgazione agricola disponibili in tutti gli Stati Uniti.

I campi livellati con il laser possono ridurre al minimo erosione, irrigazione e deflusso del fertilizzante. Molti campi hanno una pendenza graduale, che provoca una distribuzione dell'acqua e una raccolta del deflusso non uniformi. Per non rischiare che una parte sia irrigata meno del necessario, spesso gli agricoltori inondano tutto il campo, e l'acqua in eccesso si riversa in canali e fiumi circostanti. Livellando i campi si spreca meno energia per pompare l'acqua e c'è bisogno di meno fertilizzante a causa del minore deflusso.

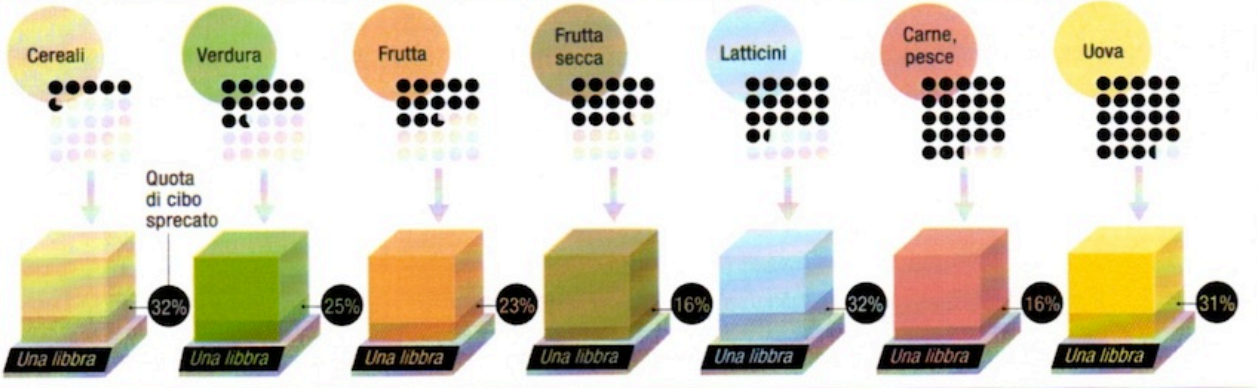
L'avvento di trattori, mietitrebbiatrici e altri macchinari dotati di GPS ha portato il concetto di «agricoltura di precisione», che au-

Gli alimenti efficienti sono anche più sani

Alimenti diversi richiedono per la loro produzione quantità di energia nettamente diverse. La carne è quattro volte più dispendiosa dei cereali. Se i consumatori preferissero prodotti meno intensivi, l'impiego di energia diminuirebbe. Anche la riduzione dell'enorme quantità di alimenti che sono sprecati permetterebbe di risparmiare energia.

Energia necessaria per produrre alimenti

Unità termiche britanniche (BTU) di energia impiegata per libbra (454 grammi) di cibo prodotta (● = 1000 BTU o 1055 chilojoule)



fonte: Università del Texas ad Austin

menta la produttività e riduce l'uso di energia. La guida con GPS permette di curare i campi e seminare le piante con precisione millimetrica, riducendo le perdite di spazio, tempo e carburante senza nemmeno il bisogno di guidare i macchinari manualmente. I ricercatori della Purdue University hanno dimostrato che, sebbene gli aggiornamenti per un'azienda di medie dimensioni possano costare intorno ai 10.000 dollari, i vantaggi superano le spese. Per fare un esempio, il consumo di carburante diminuisce. Unire GPS e diagnosi dei campi permette di mappare le condizioni del terreno e regolare con precisione l'uso delle sostanze chimiche, che può variare da una parte all'altra di un campo, in ultima analisi riducendone il fabbisogno. Inoltre si può lavorare nei campi di notte, con la nebbia o la pioggia, quando la visibilità umana è ridotta, aumentando la produttività.

Comportamenti migliori

Anche ridurre la quantità di cibo sprecato può diminuire il rapporto 10:1 tra energia usata e quella fornita dagli alimenti. Ogni anno si spreca addirittura il 25 per cento o più del cibo prodotto. Questa quantità enorme rappresenta il 2,5 per cento del consumo energetico annuale degli Stati Uniti: più energia di quella ottenuta con tutto l'etanolo prodotto nel 2011 sempre negli Stati Uniti e più di quella che sarà prodotta nel 2030 se si togliessero le restrizioni all'estrazione di petrolio sulla piattaforma continentale esterna. Già solo ridurre la quantità di cibo che buttiamo via potrebbe attenuare il consumo energetico e le emissioni di gas serra, nei prossimi dieci o vent'anni, più di quanto potrebbero molte misure costose o discutibili proposte per l'approvvigionamento dell'energia.

Numerosi metodi per ridurre gli sprechi alimentari possono essere adottati molto presto. Possiamo investire in sistemi diagnostici che controllino il deterioramento del cibo, invece del sistema approssimativo di etichettatura basato sulla data. Un esempio è l'impiego, sulle confezioni degli alimenti, di inchiostri sensibili alla temperatura e al tempo, che provochino un cambiamento di colore nelle etichette se il prodotto è stato esposto alla temperatura sbagliata per troppo tempo. Ci sono aziende che producono queste etichette, e così si potrebbero risparmiare moltissimi alimenti buttati inutilmente dai negozi che temono per la salute dei clienti. Anzi, le etichette potrebbero anche prevenire numerose malattie provocate dai cibi guasti. Obbligare le aziende a tenere sotto controllo le temperature a cui sono stati esposti gli alimentari, oltre alla durata del loro confezionamento, potrebbe dare a commercianti e a clienti migliori informazioni sui rischi di deterioramento.

E possono servire anche atteggiamenti e scelte differenti. I ristoranti possono smettere di servire porzioni mastodontiche e i consumatori possono smettere di vantarsi delle proprie imprese ai buffet *all you can eat*. Si possono tenere e consumare più spesso gli avanzi. Possiamo modificare la nostra alimentazione, sostituendo almeno in parte la carne, che richiede molta energia, con alimenti come frutta, verdura, frutta secca, legumi e cereali, dal minore dispendio energetico. Questi comportamenti non hanno bisogno di invenzioni, ma solo di una nuova mentalità, e molti si rivelano vantaggiosi anche in termini economici. Un primo passo sarebbe l'introduzione dei venerdì senza carne o dei lunedì vegetariani.

Come ha dimostrato la rivoluzione verde, i grandi cambiamenti si possono realizzare in tempi relativamente brevi, in pochi decenni. E possono essere straordinari, raggiungendo risultati molto migliori di quelli previsti. Ma sono in agguato anche le brutte sorprese: anni di produzione alimentare abbondante hanno aumentato l'incidenza dell'obesità e aggravato i cambiamenti climatici. La tecnologia da sola non basta: anche con la rivoluzione verde, il problema della fame non è stato risolto. Per ottenere un ampio successo sarà fondamentale un approccio globale alla riduzione degli sprechi di energia nel sistema alimentare, che includa un rinnovamento di comportamenti, mentalità e politiche. Non c'è motivo di credere che questa nuova rivoluzione verde sarà diversa. ■

PER APPROFONDIRE

Wasted Food, Wasted Energy. Cuéllar A.D. e Webber M.E., in «Environmental Science and Technology», Vol. 44, n. 16, pp. 6464-6469, 21 luglio 2010.

Progetto BP Foreseer, uno strumento per prevedere gli scambi nell'uso di energia, acqua e terra: **http://bit.ly/rCqkNL.**

H. Moysés Nussenzveig è professore emerito di fisica all'Universidade Federal do Rio de Janeiro e vincitore del premio Max Born della Optical Society of America. Ha sviluppato nuovi approcci teorici a un ampio spettro di fenomeni dell'ottica, e attualmente dirige una ricerca riguardo la biofisica della cellula.

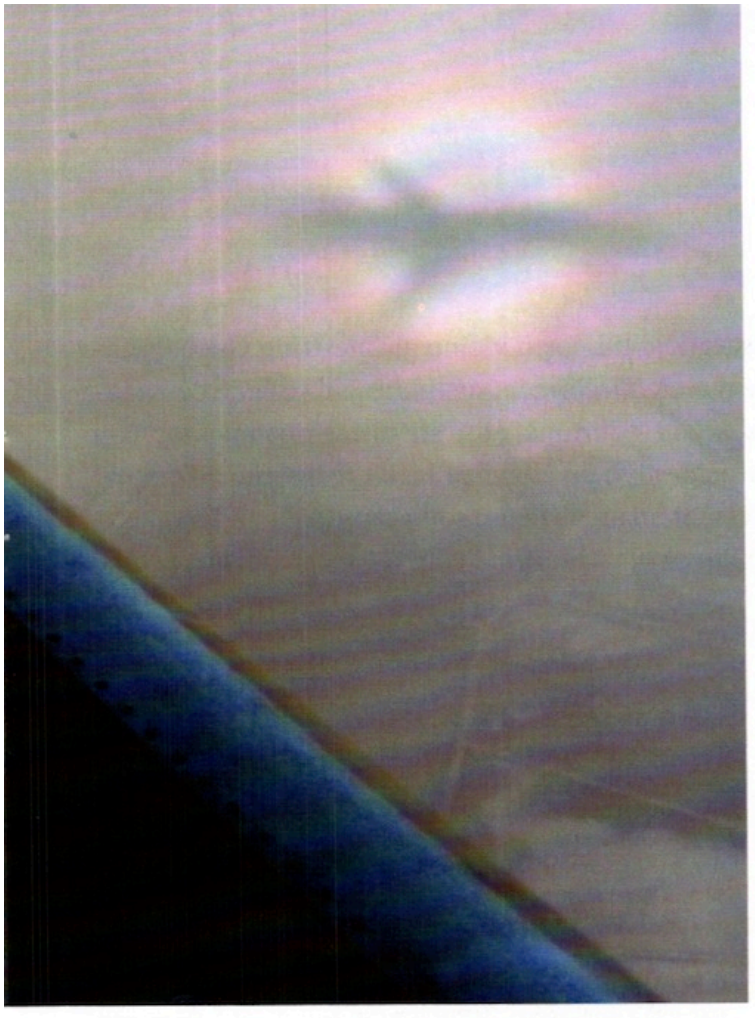
FISICA

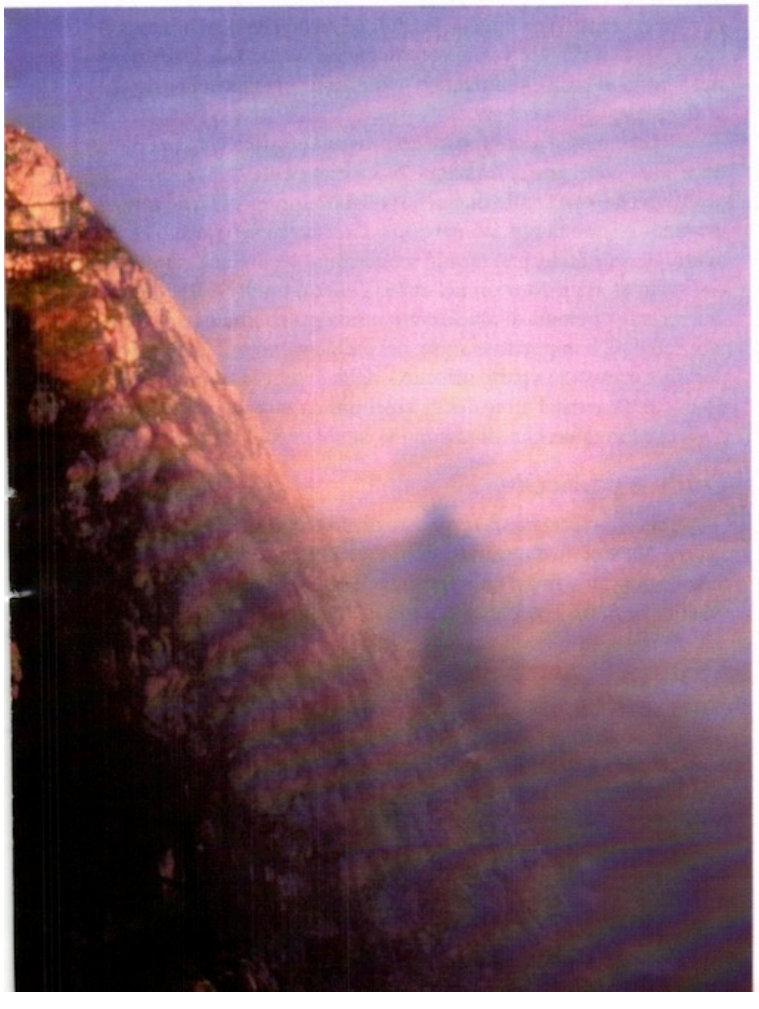
La scienza della gloria

Uno dei fenomeni meteorologici più affascinanti ha una causa inaspettatamente complessa. Il suo studio aiuterà anche a prevedere il ruolo svolto dalle nuvole nei cambiamenti climatici

di H. Moysés Nussenzveig

In senso orario dall'alto a sinistra: Steve Jurvetson; Claudia Hinz; Barbara Laughon; Claudia Hinz





Su un volo di linea diurno, provate a scegliere un posto vicino al finestrino che consenta di osservare l'ombra dell'aereo sulle nuvole. Occorre immaginare la direzione del viaggio rispetto alla posizione del Sole ma, se avete fortuna, potreste essere ricompensati con uno spettacolo meteorologico tra i più suggestivi: un alone multicolore intorno all'ombra. I suoi anelli iridescenti non sono gli stessi di un arcobaleno: sono causati da un fenomeno diverso e più complesso chiamato «gloria». Più la nuvola è vicina, più l'effetto è sorprendente, perché la nuvola domina l'intero orizzonte.

Anche a uno scalatore, subito dopo l'alba, può capitare di osservare una gloria intorno all'ombra che la sua testa proietta sulle nuvole vicine. La prima osservazione di cui si ha traccia, effettuata dai membri di una spedizione scientifica sul vulcano Pambamarca, nell'attuale Ecuador, e pubblicata dieci anni dopo, nel 1748, fu descritta così: «Una nube che ci copriva si dissolse e lasciò passare i raggi del Sole nascente (...) Poi ciascuno di noi vide la sua ombra proiettata intorno alla nuvola (...) Ciò che più ci stupì fu l'apparizione di un alone o gloria intorno alla testa, che consisteva in tre o quattro piccoli cerchi concentrici di colore brillante (...) la cosa più sorprendente fu che ciascuna delle sei o sette persone presenti osservò il fenomeno intorno all'ombra della propria testa ma non vide nulla intorno a quella delle teste degli altri».

Gli scienziati hanno ipotizzato che l'alone intorno alle teste delle divinità o degli imperatori nell'iconografia orientale e occidentale possa essere la rappresentazione di una gloria. Il celebre poema di Samuel Taylor Coleridge, *Constancy to an Ideal Object*, è un omaggio allegorico a essa. Alla fine del XIX secolo il fisico scozzese C.T.R. Wilson inventò la camera a nebbia nel tentativo di riprodurre il fenomeno in laboratorio (il tentativo fallì, ma Wilson capì che poteva usare la camera per rilevare le radiazioni e infine fu insignito del premio Nobel per questa invenzione).

L'ombra dell'osservatore o dell'aereo non ha alcun ruolo nell'apparizione di una gloria. Le sono associate solo perché l'ombra indica la direzione esattamente opposta al Sole nel cielo, perché la gloria è un effetto di retrodiffusione che devia la luce del Sole di quasi 180 gradi.

Verrebbe da pensare che un effetto così ben conosciuto relativo all'ottica, una storica branca della fisica, avrebbe dovuto trovare una spiegazione già molto tempo fa. Invece per gli scienziati questo «fenomeno che deve essere antico quanto il mondo», secondo le parole del racconto del 1748, rimase un problema insoluto per secoli. Gli stessi arcobaleni sono molto più complicati di quanto fanno credere i manuali di fisica. Ma gli arcobaleni sono assai più semplici delle glorie.

In origine sia le glorie sia gli arcobaleni vennero spiegati usando la teoria classica dell'ottica, già nota all'inizio del XX secolo, quando il fisico tedesco Gustav Mie scrisse una soluzione matematica esatta di come le gocce d'acqua diffondono la luce. Il diavolo, però, è nei dettagli. Il metodo di Mie coinvolge la somma di termini chiamati onde parziali. Questa somma è composta da un numero infinito di termini. Anche se in pratica solo un numero limitato di essi è rilevante, il metodo di Mie richiede comunque di calcolare da centinaia a migliaia di espressioni matematiche abbastanza complicate. Se mettiamo le formule in una simulazione al computer otterremo il risultato corretto ma non avremo alcuna idea dell'effetto fisico responsabile del fenomeno: la soluzione di Mie è solo una «scatola nera» matematica che, con determinati dati, produce un risultato. A questo proposito è pertinente un'affermazione del Nobel per la fisica Eugene Wigner: «È bello che il computer capisca il problema. Ma vorrei capirlo anche io». La fede cieca nella forza bruta del calcolo numerico può anche condurre a conclusioni sbagliate, come vedremo.

Nel 1965 iniziai a sviluppare un programma di ricerca per dare, tra le altre cose, una spiegazione fisica esauriente della gloria: un obiettivo che, con l'aiuto di diversi collaboratori incontrati lungo il percorso, è stato raggiunto nel 2003. La risposta si basa sull'effetto tunnel delle onde, uno dei più sconcertanti fenomeni della fisica, osservato da Isaac Newton nel 1675. L'effetto tunnel è alla base di una recente tipologia di *touchscreen*, usata nei computer e nei telefoni cellulari. È importante anche nel problema notoriamente complicato – e ancora in parte irrisolto – della determinazione del modo in cui gli aerosol atmosferici, costituiti da nuvole ma anche da polvere e fuliggine, contribuiscono al cambiamento climatico.

Onde e particelle

Nei secoli, i fisici hanno proposto diverse spiegazioni per le glorie, che poi si sono dimostrate sbagliate. All'inizio del XIX secolo il tedesco Joseph von Fraunhofer suggerì che la luce del Sole riflessa all'indietro dalle gocce all'interno di una nuvola è diffratta dalle

IN BREVE

Guardando una nube dall'alto di una montagna o da un aereo, a volte osserviamo una gloria: anelli di luce colorata intorno alla nostra ombra o a quella dell'aereo.

Come in un arcobaleno, i colori sono prodotti solo dalle gocce d'acqua che compongono le nubi. Però nel caso delle glorie la fisica è più complessa.

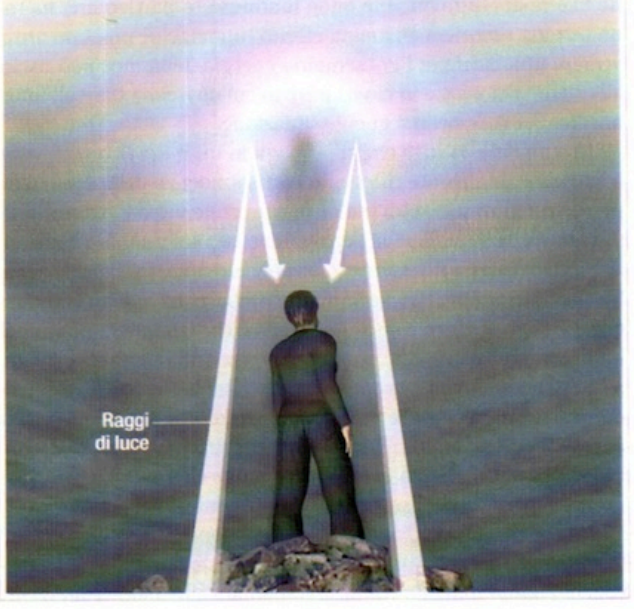
L'energia della luce riflessa all'indietro da una gloria deriva soprattutto dall'effetto tunnel, in cui i raggi di luce che non colpiscono una goccia possono trasferirle energia.

La comprensione delle glorie aiuta i climatologi a migliorare i modelli di come la copertura nuvolosa possa contribuire o alleviare i cambiamenti climatici.

OSSERVARE UNA GLORIA

Perché circonda sempre l'ombra?

Dato che una gloria è composta dalla luce riflessa all'indietro praticamente nella stessa direzione da cui proveniva, richiede un particolare allineamento tra Sole, osservatore e nuvola. Di conseguenza si osserva sempre un alone che circonda l'ombra dell'osservatore sulla nube. Proprio come in un arcobaleno, i diversi colori dello spettro elettromagnetico emergono ad angoli leggermente diversi, producendo una figura iridescente.



Illustrazioni di Alfred T. Kamajian

gocce degli strati esterni. La diffrazione è una delle proprietà ondulatorie della luce, che le permette di «girare intorno agli angoli» allo stesso modo in cui le onde del mare superano una colonna verticale e procedono come se l'ostacolo non fosse mai esistito.

Secondo Fraunhofer, la doppia diffusione generava anelli di diffrazione colorati come quelli della corona osservata sulle nuvole che circondano la Luna in cielo. Nel 1923 però il fisico indiano B.B. Ray bocciò l'idea di Fraunhofer. Negli esperimenti con le nuvole artificiali Ray aveva notato che gli anelli della gloria hanno una distribuzione di brillantezza e colore molto diversa da quelli delle corone, e che essi provengono direttamente dagli strati esterni delle nuvole, da una sola retrodiffusione da parte di singole gocce d'acqua.

Ray tentò di spiegare la retrodiffusione con l'aiuto dell'ottica geometrica, tradizionalmente associata alla teoria corpuscolare della luce, in cui la propagazione della luce è rappresentata da raggi rettilinei invece che da onde. Quando la luce incontra un'interfaccia tra due mezzi diversi, come acqua e aria, una parte è riflessa e un'altra parte è trasmessa, o rifratta (la rifrazione è il fenomeno grazie a cui una matita immersa a metà nell'acqua appare spezzata in due). La luce che entra in una goccia è riflessa una o più volte dai lati opposti della goccia prima di uscirne. Ray considerò la luce che viaggia lungo l'asse della goccia ed è riflessa all'ingresso della goccia e sul lato opposto. Anche considerando rimbalzi multipli lungo l'asse, però, il suo risultato non spiegava le glorie.

Quindi la teoria delle glorie dovette andare oltre l'ottica geometrica e considerare anche la natura ondulatoria della luce e, in particolare, gli effetti come la diffrazione. A differenza della rifrazione, la diffrazione è maggiore se la lunghezza d'onda della luce aumenta. La conferma che la gloria sia un effetto della diffrazione deriva dall'osservazione del fatto che i suoi cerchi interni sono blu mentre quelli esterni sono rossi, e corrispondono rispettivamente alle lunghezze d'onda minori e maggiori.

La teoria matematica della diffrazione da parte di una sfera quale una goccia d'acqua, nota come diffusione di Mie, calcola la soluzione come somma di un numero infinito di termini, denominati onde parziali. Ogni termine dipende in modo complicato dalla dimensione della goccia, dall'indice di rifrazione – una misurazione di quanto l'acqua devia i raggi luminosi rispetto ad altri materiali – e dalla distanza del raggio luminoso dal centro della goccia, il parametro d'impatto del raggio. Senza un computer ad alta velocità, è impossibile svolgere i calcoli della diffusione di Mie in gocce le cui dimensioni variano in un intervallo abbastanza ampio; solo negli anni novanta i supercomputer sono diventati abbastanza veloci da dare risultati realistici per l'intera gamma dimensionale delle gocce che compongono una nube. I ricercatori dovevano trovare metodi migliori per capire che cosa stesse succedendo.

Hendrik C. van de Hulst, pioniere della radioastronomia moderna, diede il primo risultato significativo nella spiegazione fisica delle glorie a metà del XX secolo. Affermò che un raggio di luce che entrava in una goccia molto vicino al bordo potesse seguire una traiettoria a V all'interno della goccia, rimbalzando sul lato posteriore e tornando quasi esattamente nella stessa direzione di provenienza. Dato che le gocce sono simmetriche, nel fascio di raggi paralleli che provengono dal Sole l'impatto favorevole si verificherebbe non solo per un singolo raggio, ma per un insieme circolare di raggi che si trovano tutti alla stessa distanza dal centro della goccia: l'effetto della concentrazione amplificherebbe notevolmente la retrodiffusione.

La spiegazione appare chiara, tuttavia ha un grave intoppo. Se un raggio entrasse e uscisse da una goccia, verrebbe deviato dalla rifrazione. Ma l'indice di rifrazione dell'acqua non è abbastanza elevato da diffondere all'indietro un raggio nella stessa direzione dopo una sola riflessione interna. Al massimo l'acqua può respingere la luce all'indietro con un angolo di 14 gradi rispetto al raggio originario.

Nel 1957 van de Hulst propose che questo angolo mancante di 14 gradi fosse colmato da un ulteriore tratto in cui la luce viaggia come un'onda di superficie lungo la superficie della goccia. Le onde di superficie all'interfaccia tra due mezzi diversi appaiono in molte situazioni. L'idea era che un raggio incidente tangenzialmente avrebbe sfiorato la goccia e viaggiato sulla sua superficie per un breve tratto, poi si sarebbe propagato lungo la goccia fino al suo lato posteriore. Poi avrebbe viaggiato di nuovo lungo la superficie e sarebbe stato riflesso all'indietro attraverso la goccia. Un passaggio finale lungo la superficie lo avrebbe rispedito all'indietro nella direzione da cui proveniva. L'effetto complessivo sarebbe stata la diffusione del raggio all'indietro nella direzione opposta a quella iniziale.

Un potenziale problema deriva dal fatto che le onde superficiali perdono energia emettendo radiazione lungo la tangente, ma van de Hulst immaginò che questo smorzamento fosse più che compensato dall'amplificazione prodotta dalla concentrazione assiale. All'epoca in cui propose la sua tesi, però, non c'erano metodi quantitativi con cui valutare il contributo delle onde superficia-

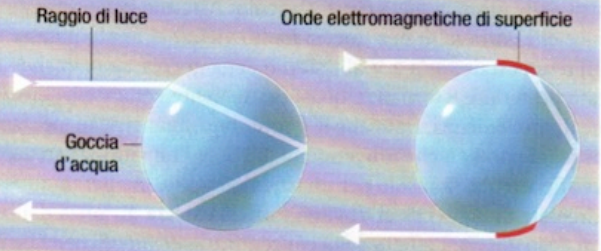
La luce in fondo al tunnel

Le glorie sono note da secoli, ma solo in anni recenti (e dopo alcune false partenze) i ricercatori hanno raggiunto la reale comprensione fisica del fenomeno, basata sull'effetto tunnel.

Un approccio «sbagliato» e uno migliore

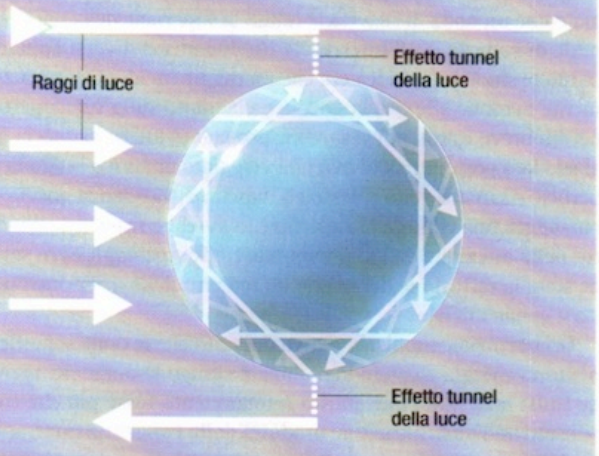
I ricercatori prima hanno tentato di attribuire il fenomeno semplicemente alla luce che rimbalza all'indietro nelle microscopiche gocce d'acqua che compongono le nuvole. I raggi luminosi dovrebbero deviare (per rifrazione) mentre entrano in una goccia, esserne riflessi e poi deviare ancora quando escono, tornando lungo la direzione da cui sono partiti (*in basso a sinistra*). Ma l'acqua non devia i raggi di luce a sufficienza per tornare esattamente lungo la stessa direzione.

Una seconda teoria assumeva che i raggi di luce che sfiorano una goccia possano temporaneamente trasformarsi in onde elettromagnetiche di superficie. Seguendo la superficie curva per una piccola distanza (*in basso a destra*) prima di entrare nella goccia, la luce potrebbe essere deviata proprio dall'angolo necessario per tornare nella stessa direzione. Questo effetto si verifica, ma dà un contributo piccolo all'energia totale osservata in una gloria.



Una spiegazione più completa

Una teoria matematica della diffusione della luce ha poi spiegato le glorie servendosi di lunghi calcoli, senza fornire alcuna informazione sulla fisica che è alla base del fenomeno. L'autore invece ha dimostrato che la maggior parte della luce osservata in una gloria è il risultato di energia che passa per effetto tunnel nelle gocce dai raggi di luce, che peraltro non sembrano colpirle. L'effetto tunnel è una proprietà nota delle onde, sia in fisica classica sia in fisica quantistica.



li. Tuttavia le informazioni sull'origine fisica delle glorie, compreso il ruolo delle onde di superficie, dovevano essere contenute implicitamente nelle serie di onde parziali di Mie: la sfida consisteva nell'estrarle.

La mente batte il computer

Le onde di superficie non erano l'unica soluzione possibile all'enigma delle glorie. Nel 1987 Warren Wiscombe, del Goddard Space Flight Center della NASA a Greenbelt, in Maryland, e io presentammo un nuovo risultato sulla diffrazione: i raggi di luce che passano all'esterno della sfera potrebbero dare un contributo significativo. A prima vista, pare impossibile. Come può essere influenzato da una goccia un raggio che non la attraversa nemmeno? Le onde, tuttavia, e le onde luminose in particolare, hanno una strana proprietà chiamata effetto tunnel, cioè possono attraversare una barriera. Per esempio l'energia della luce può uscire all'esterno del mezzo in circostanze in cui dovrebbe stare all'interno, come si vede nella seguente situazione.

Tipicamente, la luce che si propaga in un mezzo come il vetro o l'acqua è totalmente riflessa in corrispondenza della separazione con un altro mezzo di indice di rifrazione minore, come l'aria, se colpisce la superficie di separazione con un angolo abbastanza piccolo. Questa riflessione totale, per esempio, trattiene i segnali nelle fibre ottiche. Anche se la luce rimbalza all'indietro, comunque il campo elettrico e quello magnetico che compongono le onde luminose non si annullano completamente all'interfaccia. I campi si estendono in un piccolo intervallo oltre la superficie, formando onde evanescenti che non si propagano oltre la regione vicina all'interfaccia e non trasportano energia attraverso il bordo. Le onde evanescenti fanno in modo che il campo elettromagnetico vicino alla superficie vibri sul posto, come le corde di una chitarra.

Ciò che ho appena descritto è un situazione in cui non c'è effetto tunnel. Se tuttavia un terzo mezzo è posto a una distanza piccola dal bordo in modo che si sovrapponga alle onde evanescenti, le onde possono riavviare la propagazione nel terzo mezzo e, dunque, trasportare energia. Di conseguenza, la riflessione interna nel mezzo originale ne verrà indebolita. Il mezzo intermedio, che prima fungeva da barriera, ora viene attraversato.

Per osservare un effetto tunnel significativo è necessario che l'angolo mancante non sia molto maggiore di una lunghezza d'onda: 0,5 micrometri o meno nel caso della luce visibile. Tuttavia, Newton aveva osservato il fenomeno già nel 1675. Stava analizzando le figure di interferenza oggi denominate «anelli di Newton» per mezzo di una lente convessa su un vetro piatto. Gli anelli dovrebbero apparire solo nei punti in cui la luce può propagarsi direttamente dalla lente al vetro. Newton però osservò che persino se la lente e il vetro erano separati da una fessura d'aria molto sottile – in modo che le due superficie fossero quasi in contatto l'una con l'altra – una parte della luce, che avrebbe dovuto subire una riflessione interna totale, attraversava invece la barriera.

Nell'effetto tunnel non avviene ciò che suggerirebbe l'intuizione. Il fisico russo George Gamow fu il primo ad applicarlo in meccanica quantistica per spiegare perché alcuni isotopi radioattivi possono emettere particelle alfa. Gamow osservò che le particelle alfa non dovrebbero avere energia sufficiente a staccarsi da nuclei più grandi, come una palla di cannone non raggiunge la velocità di fuga necessaria a sfuggire al campo gravitazionale terrestre. Riuscì a dimostrare che a causa della loro natura ondulatoria le particelle alfa possono comunque attraversare la barriera di energia e sfuggire.

L'effetto tunnel però non è esclusivamente legato alla meccanica quantistica: si verifica anche con le onde classiche. La luce solare che viaggia all'esterno di una goccia d'acqua in una nuvola può, contro ogni intuizione, penetrare al suo interno grazie all'effetto tunnel e, in questo modo, contribuire all'apparizione di una gloria.

Nelle prime ricerche del 1987, Wiscombe e io studiammo la diffusione da una sfera totalmente riflettente come una palla d'argento. Trovammo che le onde parziali associate con i raggi del bordo superiore possono arrivare, se i raggi passano abbastanza vicino alla sfera, fino alla superficie grazie all'effetto tunnel, dando però un contributo apprezzabile alla diffrazione.

Nel caso di una sfera trasparente come una goccia d'acqua, l'onda, dopo aver attraversato la superficie, si può propagare all'interno. Da lì, colpisce la superficie interna con un angolo abbastanza stretto da essere riflessa totalmente, rimanendo così intrappolata all'interno. Una situazione simile avviene con le onde sonore: nella celebre balconata dei sussurri sotto la cupola della cattedrale londinese di St. Paul, una persona che sussurra di fronte al muro può essere udita a grande distanza sul lato opposto, dato che il suono subisce riflessioni multiple rimbalzando intorno alle mura curvate.

Nel caso delle onde luminose, tuttavia, la luce che ha attraversato la barriera energetica in un senso può anche attraversarla di nuovo nel senso opposto. Per alcune lunghezze d'onda, dopo numerose riflessioni interne, l'onda si rinforza da sé per interferenza costruttiva e produce il fenomeno noto come «risonanza di Mie». Per capire l'effetto, immaginate di spingere un'altalena proprio al ritmo della sua oscillazione naturale, portandola sempre più in alto. A causa dell'analogia con l'acustica, queste risonanze sono note anche come «modi della balconata dei sussurri». Un piccolo cambiamento nella lunghezza d'onda basta per desincronizzare la risonanza, perché le risonanze di Mie sono assai concentrate e producono grandi amplificazioni di intensità.

Il fenomeno delle glorie è dovuto a un effetto tunnel macroscopico della radiazione luminosa

Per riassumere, tre effetti potenziali si contendono il ruolo di principale responsabile del fenomeno della gloria: i raggi che colpiscono la sfera, con la retrodiffusione assiale basata sull'ottica geometrica suggerita da Ray; i raggi al bordo, che coinvolgono le onde di superficie di van de Hulst; e il contributo delle risonanze di Mie, provenienti dall'effetto tunnel della luce. Nel 1988, Vijay Khare, che allora lavorava all'Università di Rochester, e io valutammo il contributo dei raggi prossimi al bordo, compresi i termini di van de Hulst. Le risonanze furono studiate da Luiz Gallisa Guimarães dell'Universidade Federal do Rio de Janeiro e da me nel 1994. Nel 2002 effettuai un'analisi in dettaglio per determinare quale di questi effetti fosse più rilevante. Osservai che la retrodiffusione assiale è trascurabile, il contributo principale proviene dalle risonanze e dall'effetto tunnel sulla luce sul bordo superiore. La sola conclusione fu che le glorie sono un effetto tunnel macroscopico della luce.

Glorie e clima

Oltre a permetterci la soddisfazione intellettuale di aver finalmente compreso l'origine delle glorie, l'effetto tunnel della luce ha anche applicazioni pratiche. I modi della balconata dei sussurri sono stati usati per costruire laser, grazie a micro-gocce d'acqua e micro-sfere solide, o altre geometrie come i dischi microscopici. L'avvicinamento di un dito allo schermo svolge il ruolo della lente convessa di Newton, che permette alla luce di attraversarla, essere diffusa all'indietro e fornire un segnale. Anche le onde luminose evanescenti generate dall'effetto tunnel hanno molte importanti applicazioni in una tecnologia denominata «microscopia in campo vicino» dato che non può risolvere dettagli più piccoli di una lunghezza d'onda, superando il noto limite di diffrazione oltre il quale i microscopi tradizionali danno immagini sfocate.

Capire la diffusione delle gocce è necessario per stimare il ruolo che avrà la copertura nuvolosa nel cambiamento climatico, ed è forse l'applicazione più rilevante. L'acqua è altamente trasparente nello spettro visibile ma, proprio come l'anidride carbonica e altri gas serra, assorbe alcune frequenze nell'infrarosso. Dato che generalmente le risonanze di Mie coinvolgono traiettorie lunghe con un enorme numero di riflessioni interne, una piccola goccia potrebbe assorbire una quantità significativa di radiazione, specialmente se l'acqua contiene sostanze inquinanti invece di essere trasparente come il cristallo. Dato che la copertura media di nuvole cambia, tutto questo aiuterà a mantenere il pianeta fresco, riflettendo una maggiore quantità di luce solare nello spazio, o invece contribuirà al riscaldamento trattenendo la radiazione infrarossa come una coperta in più?

Fino a dieci anni fa le simulazioni della diffusione della luce da parte delle nuvole svolgevano i calcoli di Mie per una gamma relativamente limitata di diametri delle gocce, considerati rappresentativi delle nubi tipiche. In genere questa regola riduceva la domanda di tempo-macchina sui supercomputer, ma aveva una controindicazione nascosta.

Come ho dimostrato nel 2003 usando metodi che ho sviluppato per l'analisi degli arcobaleni e delle glorie, i metodi di simulazione tradizionali possono generare errori fino al 30 per cento, considerando bande di frequenza ristrette. Queste tecniche possono calcolare la diffusione in un campione statistico di gocce con diametri selezionati, ma trascurano i contributi importanti che provengono da risonanze molto strette che cadono tra un diametro e l'altro: per esempio, se compiono calcoli per diametri di un micrometro, due micrometri, tre micrometri e così via, potrebbero ignorare una risonanza netta a 2,4 micrometri. La mia previsione è stata confermata nel 2006 da uno studio che teneva conto della distribuzione statistica delle dimensioni delle gocce nell'atmosfera; in anni recenti, i modelli sono stati aggiornati in modo da considerare diametri delle gocce separati da intervalli molto più piccoli.

Come ammonisce Wigner, anche i risultati prodotti da supercomputer di ultimissima generazione, se vengono usati senza una conoscenza fisica di base, possono essere inattendibili. È qualcosa su cui riflettere, forse, la prossima volta che vi capita un posto vicino al finestrino. ■

PER APPROFONDIRE

Diffraction Effects in Semiclassical Scattering. Nussenzveig H.M., Cambridge University Press, 1992.

Light Tunneling in Clouds. Nussenzveig H.M., in «Applied Optics», Vol. 42, n. 9, pp.1588-1593, 20 marzo 2005.

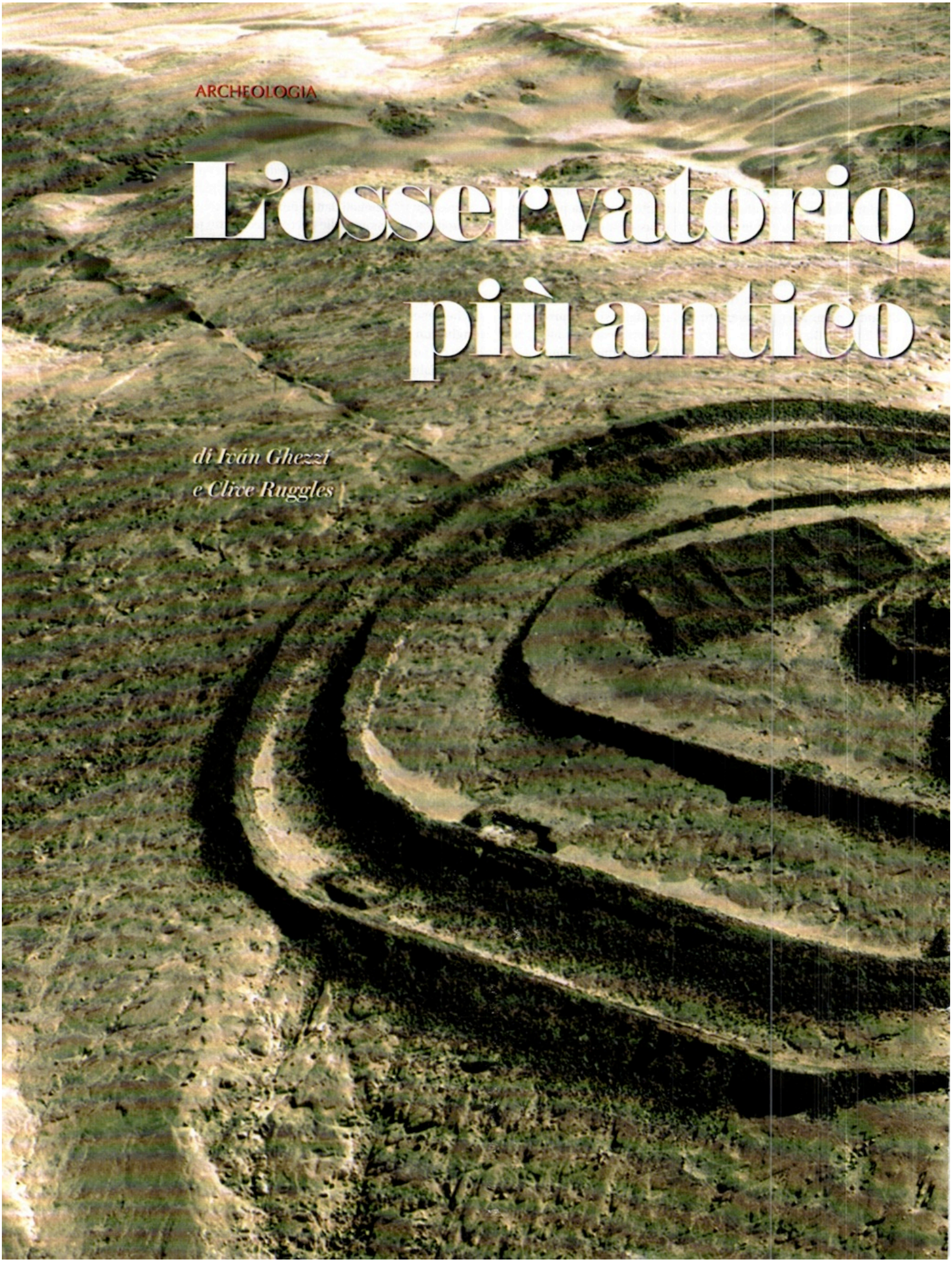
Solar Absorption by Mie Resonances in Cloud Droplets. Zender C.S. e Talamantes J., in «Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer», Vol. 98, n. 1, pp. 122-129, marzo 2006.

Light Tunneling. Nussenzveig H.M., in «Progress in Optics», Vol. 50. Wolf E. (*a cura*), Elsevier, 2007.

ARCHEOLOGIA

L'osservatorio più antico

di Iván Ghezzi e Clive Ruggles



solare d'America

Il complesso cerimoniale di Chankillo, in Perù, fu abitato durante il IV secolo a.C. Le ricerche hanno rivelato che serviva per la professione di un raffinato culto del Sole, molto precedente a quello degli Inca

La Fortezza: Questa imponente struttura, larga 300 metri, è l'elemento più riconoscibile del complesso di Chankillo. La sua funzione è stata oggetto di numerose interpretazioni. Le indagini archeologiche più recenti suggeriscono che forse si trattava di un tempio fortificato.

Iván Ghezzi ha conseguito un dottorato in archeologia alla Yale University. Ha studiato l'archeologia delle società complesse delle Ande centrali. Attualmente insegna alla Pontificia Università cattolica del Perù.

Clive Ruggles ha conseguito un dottorato in astrofisica all'Università di Oxford ed è professore emerito presso l'Università di Leicester. Tra il 2006 e il 2010 è stato presidente della Società di preistoria.

Sulla costa peruviana, circa 400 chilometri a nord di Lima, si erge il complesso di Chankillo, la cui età è stimata in 23 secoli. La sua funzione è stata oggetto di varie ipotesi: si è immaginato che potesse servire da fortezza, rifugio, monastero di clausura, o persino che fosse un luogo deputato allo svolgimento di battaglie rituali. Le nostre ricerche suggeriscono invece che si trattasse di un grande complesso cerimoniale dedicato al culto del Sole. In altri termini, lo si potrebbe definire l'osservatorio solare più antico d'America.

Nel campo dell'archeoastronomia, il termine «osservatorio» va usato con cautela, dato che spesso evoca immagini di antichi «astronomi». Tuttavia lo studio dei luoghi dai quali le civiltà primitive scrutavano la volta celeste, insieme alla natura e al contesto di tali osservazioni, fornisce informazioni preziose sul modo in cui queste civiltà percepivano, ordinavano e controllavano il mondo.

Oggi sappiamo che i calendari solari orizzontali (basati sull'osservazione delle posizioni di alba e tramonto all'orizzonte nel corso dell'anno) godevano di grande importanza tra le popolazioni indigene d'America. Nella civiltà maya, l'individuazione e la previsione dei cicli celesti, con fini divinatori e predittivi, si spinsero molto al di là della necessità di regolare le attività annuali cicliche in funzione dei mutamenti stagionali. In altre parti dell'America centrale lo studio dell'orientamento degli edifici sacri e delle piante urbane suggerisce l'esistenza di calendari solari orizzontali, nei quali si attribuiva particolare importanza a date chiave. Oltre ai solstizi, queste includevano i passaggi dallo zenit e altre date calcolate a partire dalle prime a intervalli specifici, il tutto nell'ambito dei complessi cicli incrociati del calendario mesoamericano.

In Sud America i reperti documentano l'esistenza di pratiche rituali e credenze cosmologiche relative a un culto solare regolato dai sovrani inca. Ciò indica un grande interesse per il movimento dei corpi celesti e per il calendario, suggerendo che i rituali del culto solare fossero orchestrati dai governanti per riaffermare la loro origine divina, accentrare il potere e legittimare la propria autorità. Sono state avanzate diverse ipotesi sui possibili schemi usati dagli Inca per regolare il calendario mediante il paesaggio, ipotesi che prendono le mosse da documenti storici e dall'analisi della disposizione spaziale degli edifici sacri, come il sistema di *ceque* (linee immaginarie lungo le quali erano disposti i luoghi sacri) di Cuzco.

I pilastri del Sole, per esempio, sono stati descritti da vari testimoni come grandi colonne di pietra ubicate in modo da essere visibili all'orizzonte da Cuzco. Sarebbero servite a scandire i tempi della semina e del raccolto e a regolare altre pratiche stagionali, ma purtroppo sono sparite senza lasciare traccia; la loro posizione precisa è tuttora sconosciuta. Di conseguenza oggi non c'è consenso sulla possibile funzione svolta dai pilastri nell'osservazione del Sole (e forse anche della Luna, come suggerito da alcuni).

Un aspetto fondamentale riguarda la natura delle credenze cosmologiche nelle società che precedettero gli Inca. È possibile che le pratiche di osservazione e culto del Sole siano così antiche da essere antecedenti alla civiltà inca? L'unica possibilità di risposta è offerta dall'archeologia. I problemi insiti nell'interpretazione dei sistemi di allineamento (o, più in generale, di modelli specifici) in assenza di prove storiche che li corroborino sono noti agli archeologi e non di rado appaiono scoraggianti. In questo quadro, il complesso di Chankillo costituisce una fortunata eccezione: oggi possiamo affermare con certezza quasi assoluta che servì all'osservazione di alba e tramonto nell'arco dell'anno.

Alla scoperta di Chankillo

Chankillo è un complesso architettonico a uso cerimoniale situato nella parte meridionale del bacino del fiume Casma, nel deserto costiero di Ancash. Recenti scavi ci hanno permesso di stimarne l'età in circa 2300 anni. Il complesso contiene numerosi edifici, piazze e logge costruiti con pietre squadrate e fango essiccato, e occupa una superficie di circa 4 chilometri quadrati. Il terreno su cui si erge è composto da banchi di sabbia, affioramenti rocciosi, dune e boschi di carrubo.

L'edificio più noto è la cosiddetta «fortezza»: un'imponente struttura lunga 300 metri, situata strategicamente in cima a una collina e difesa da grandi muraglioni, accessi ristretti, parapetti e, molto probabilmente, da un fossato a secco. La sua funzione è stata oggetto di numerose ipotesi: fortezza, caserma o centro cerimoniale. Le ultime ricerche archeologiche, tuttavia, suggeriscono che forse si trattava di un tempio fortificato.

Un settore molto meno conosciuto è la vasta area a uso civile e cerimoniale a est della fortezza, che include numerosi edifici, piazze, cortili e depositi. Il suo elemento caratterizzante sono le Tredici Torri: una fila di tredici costruzioni cubiche di pietra squadrata e fango collocate sulla cresta di una collinetta, che sorge pressappoco al centro dell'intero complesso di Chankillo. La fila è orientata sull'asse nord-sud, sebbene le torri numero 11, 12 e 13 (la numero 1 è quella situata più a nord) inclinino a sud-est. Le torri configurano un orizzonte artificiale «dentellato», con punte e spazi vuoti disposti a intervalli regolari.

Benché le torri si siano conservate abbastanza bene, gli angoli superiori e alcuni muri interni sono parzialmente collassati. Le costruzioni non sono identiche: la loro pianta è rettangolare o romboidale, l'altezza varia tra i 2 e i 6 metri e il volume oscilla tra 150 e 750 metri cubi. Ciò che invece si presenta estremamente regolare è lo spazio fra le torri, compreso tra 4,7 e 5,1 metri. Ogni torre è munita di due scale – una sul lato nord, l'altra su quello sud

IN BREVE

Chankillo è un complesso cerimoniale situato nel ramo meridionale del bacino del fiume Casma, nel deserto di Ancash, in Perù. Fu abitato nel IV secolo a.C.

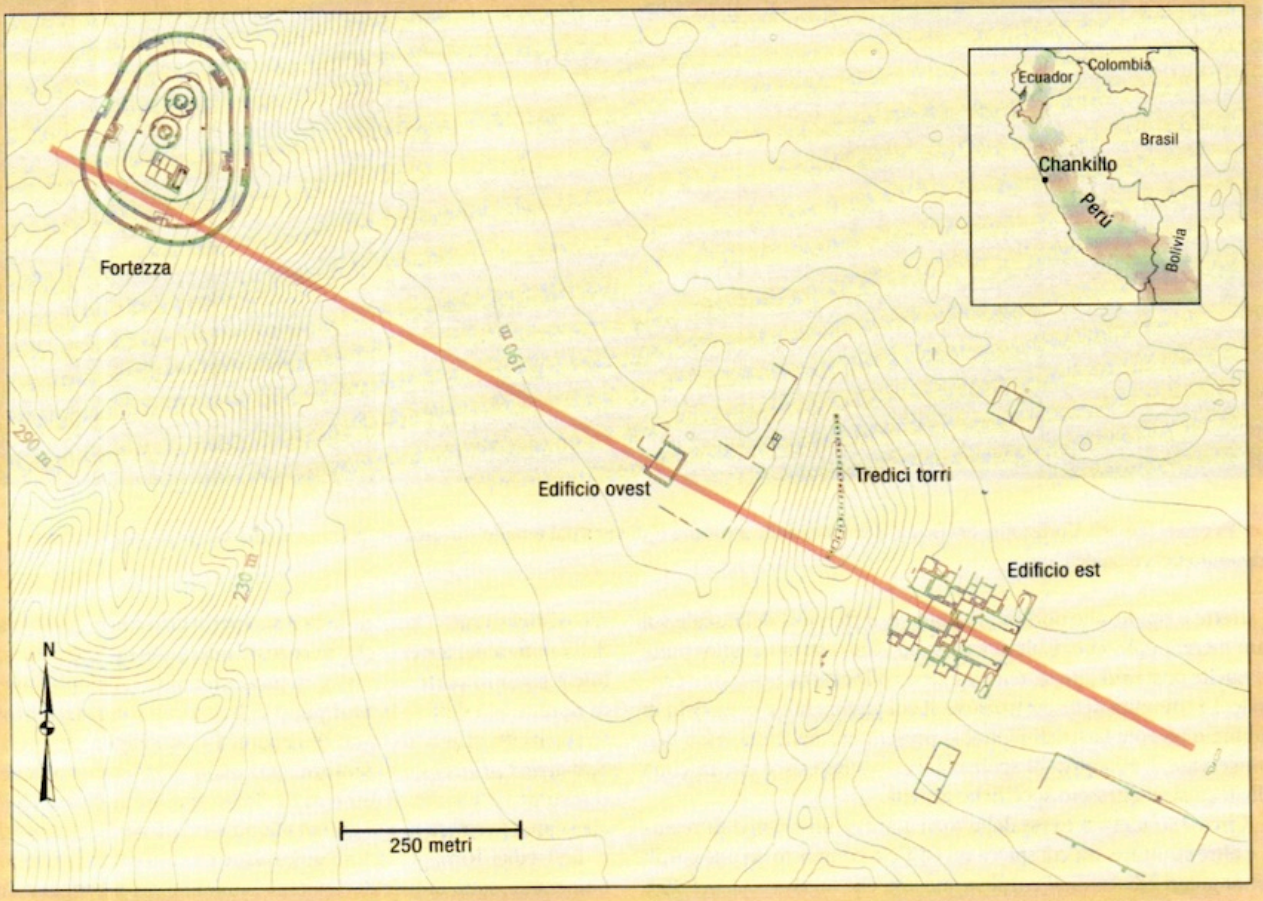
È stato dimostrato che il misterioso sito fungeva da «osservatorio» solare: la disposizione delle sue strutture consentiva infatti di seguire con estrema precisione i movimenti del Sole nel corso dell'anno.

Ciò permise agli abitanti del centro di creare un calendario. Lo studio del complesso fornisce informazioni preziose sull'organizzazione sociale delle culture anteriori a quella inca.

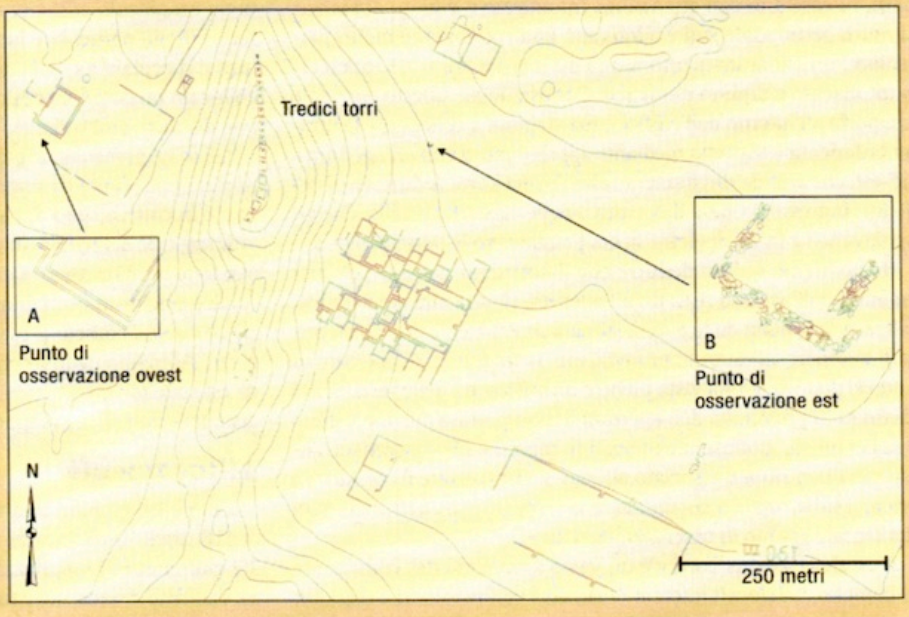
Cortesia Servicio Aerofotográfico Nacional, Perù (*pagine precedenti*)

Un culto del Sole anteriore agli Inca

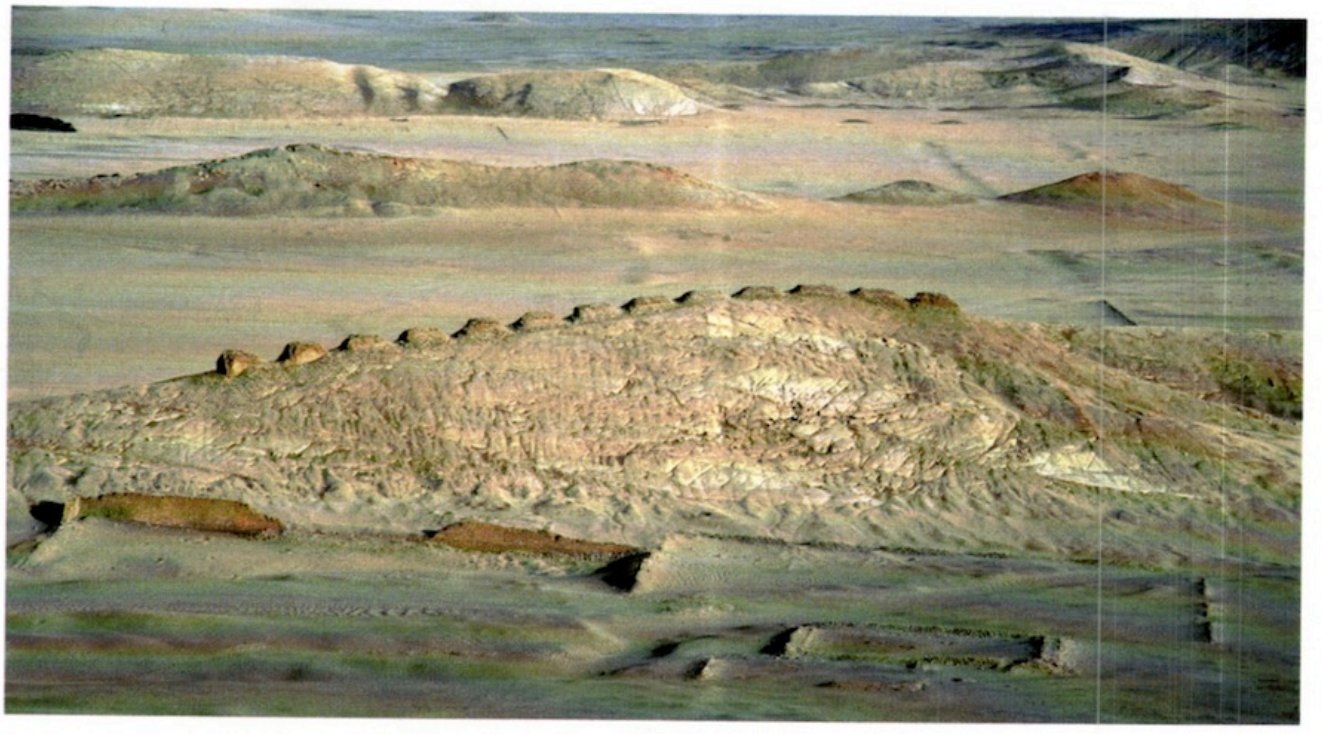
Il complesso di Chankillo fu abitato circa 2300 anni fa. Consisteva in un tempio fortificato e in vari edifici, piazze e patî. Le ricerche effettuate dagli autori dimostrano che le Tredici Torri, un'enigmatica struttura centrale, servivano a indicare la posizione di alba e tramonto nel corso dell'anno.



La fortezza, l'edificio a ovest delle Tredici Torri, la torre più meridionale e l'edificio est sono situati sul medesimo asse, orientato a sud-est (*linea arancione, sopra*). L'asse coincide, in modo molto approssimativo, con la linea individuata dall'alba nel solstizio di dicembre e dal tramonto in quello di giugno. Circa 250 metri a ovest (A) e a est (B) delle Tredici Torri, si ergevano due strutture simmetriche la cui funzione apparente non era altro che l'osservazione delle torri stesse. In quei punti sono stati rtirovati resti di cerimonie rituali.



Salvo diversa indicazione, tutte le illustrazioni sono cortesia degli autori. Prima pubblicazione in «Chankillo: a 2300-year-old solar observatory in coastal Peru», J. Ghezzi y C. Ruggles, in «Science», vol. 315, Págs. 1239-1243, 2 marzo 2007.



Le Tredici Torri: L'orizzonte artificiale delineato dalla struttura (qui vista dal tempio fortificato) serviva a segnare le posizioni di alba e tramonto nel corso dell'anno.

– strette e ripide, che portano in cima. A differenza delle scale sul lato meridionale, che risultano spostate verso est, la maggior parte di quelle poste sul lato settentrionale è collocata in posizione centrale. Le sommità delle costruzioni, il cui pavimento è composto di sabbia o piccole lastre di pietra, si presentano nel complesso ben conservate. L'esistenza di scale d'accesso suggerisce che in cima alle torri si svolgessero specifiche attività.

Circa 250 metri a ovest delle torri si trova un gruppo di recinti e altre strutture, tra cui spicca un edificio composto da due cortili rettangolari adiacenti. Il cortile a sud-est, che misura 53,6 per 36,5 metri, fu costruito con attenzione, intonacato e dipinto di bianco. Al muro perimetrale sud è addossata una costruzione molto particolare: un camminamento lungo 40 metri e largo 2,5, anch'esso intonacato e dipinto di bianco. Curiosamente, questo corridoio non porta all'interno dell'edificio, ma si limita a collegarne l'entrata nordorientale (ristretta mediante appositi muri) con un'apertura a sud-est, che guarda direttamente alle Tredici Torri. A differenza degli altri ingressi di Chankillo, è privo delle classiche nicchie che alloggiavano i cardini di pietra su cui poggiavano le porte in legno.

Ne possiamo quindi dedurre che il corridoio servisse solo per condurre dall'accesso ristretto all'apertura rivolta alle Tredici torri. L'altezza originaria delle pareti, stimata in 2,2 metri, non consentiva di guardare all'esterno; tuttavia, una volta giunti all'apertura in fondo si godeva di una vista piena e incontrastata delle torri. Scavi effettuati in prossimità dell'apertura hanno portato alla luce offerte di ceramica, molluschi e utensili in pietra, il che suggerisce l'esistenza di un rituale associato all'atto di attraversare il corridoio e fermarsi sulla soglia a contemplare le torri. Questa apertura è stata ribattezzata «punto di osservazione ovest».

A est delle Tredici Torri c'è un vasto spazio aperto, contenente un complesso di locali interconnessi, altri edifici minori e depositi, posti intorno a una grande piazza. Questa non è delimitata da muri o edifici su tutti i lati; tuttavia il suo perimetro è ben evidenziato dalla natura del terreno, che in corrispondenza del piano calpestabile è stato in parte spianato, in parte riempito e completamente ripulito dai detriti. In vari punti della piazza sono state trovate apparenti offerte di flauti in ceramica e conchiglie del bivalve *Spondylus princeps*; nei dintorni, piccoli immondezzai contenenti resti di vasellame, flauti e mais. Tutto sembra indicare che in quest'area avessero luogo grandi adunate e banchetti cerimoniali.

Le Tredici Torri, per la loro ubicazione elevata e il carattere monumentale, sono uno degli elementi dominanti del paesaggio. Tuttavia un piccolo edificio, relativamente isolato a un estremo del foro, suscita particolare interesse. La sua collocazione rispetto alle torri è speculare a quella del punto di osservazione ovest, essendo collocato quasi sul medesimo asse est-ovest, alla stessa altezza e a una distanza molto simile.

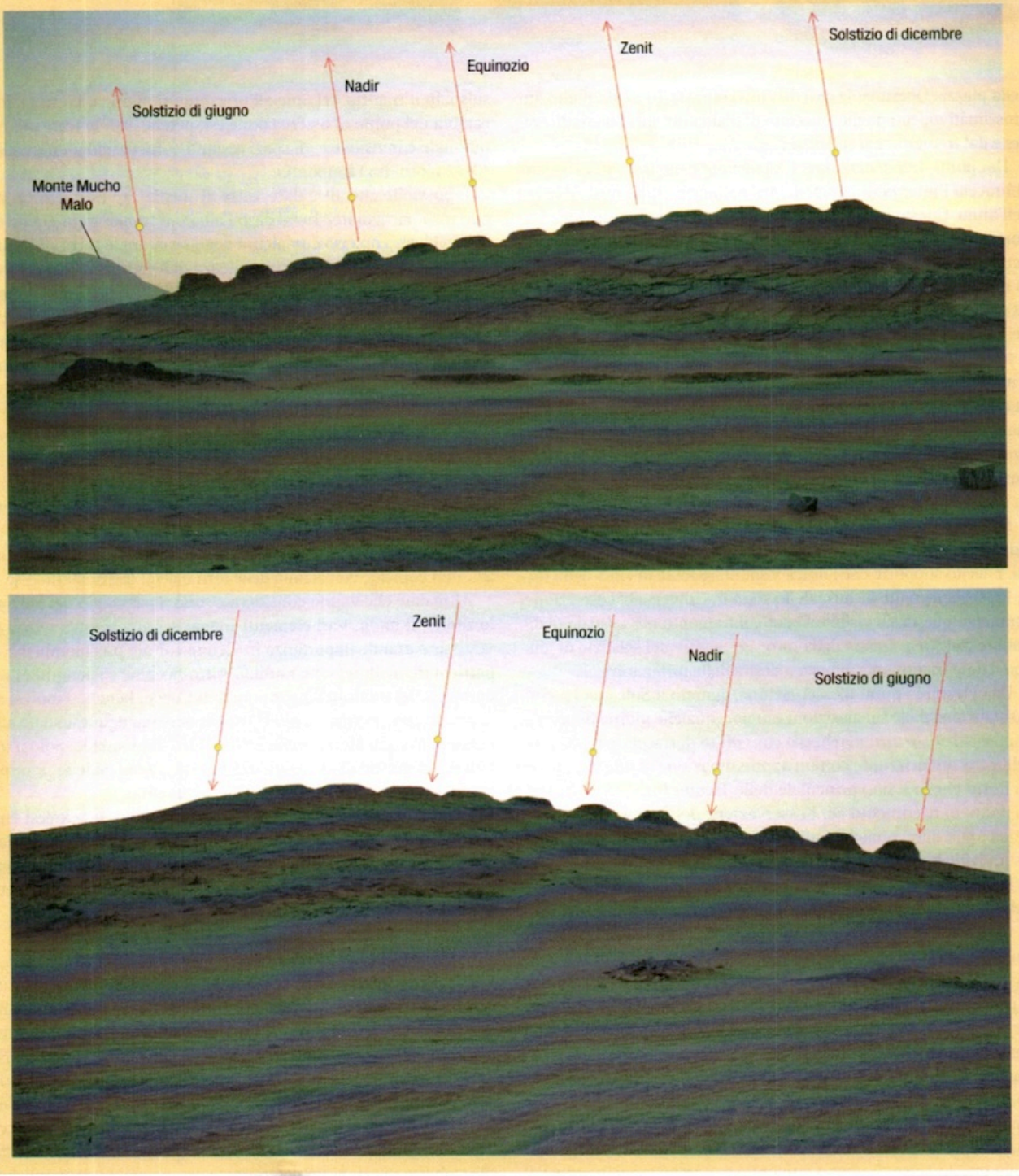
Gli scavi archeologici effettuati presso questa costruzione hanno rivelato una pianta rettangolare incompleta, larga 6 metri. La struttura è in cattivo stato di conservazione poiché, oltre ad aver subito le ingiurie del tempo, in un dato momento successivo al suo abbandono sembra essere stata smantellata fin quasi alle fondamenta. Analogamente al camminamento che conduce al punto d'osservazione ovest, l'edificio presenta un accesso ristretto da un apposito muro. Abbiamo dedotto che costituisse un punto di osservazione da est sulle torri, sebbene – a differenza del suo corrispettivo occidentale – non siamo in grado di determinarne la posizione esatta.

Allineamenti

Chankillo è chiaramente orientato a sud-est, con un azimut di 118 gradi. Questo orientamento risulta definito da un asse di 3,2 chilometri di lunghezza che attraversa, tra gli altri, la fortezza, l'edificio a ovest delle torri, la torre più meridionale, la scalinata d'accesso all'edificio a est delle torri e una piccola piattaforma

Il Sole e le torri nel 300 a.C.

Il team di ricerca guidato dagli autori dell'articolo ha effettuato un raffronto dettagliato tra la posizione delle torri e i punti di alba e tramonto nell'anno 300 a.C. Dal punto di osservazione ovest (*sopra*), in quell'anno l'alba nel solstizio di dicembre corrispose alla posizione della torre situata più a sud. Nel solstizio di giugno il Sole si levò tra le pareti del monte Mucho Malo, che probabilmente fu considerato alla stregua di un'altra «torre». Dal punto di osservazione est (*sotto*), le torri segnavano il tramonto nelle date in questione. All'epoca le cime delle torri formavano un «orizzonte dentellato», che risultava suddiviso in intervalli regolari dagli spazi stretti e profondi tra le costruzioni. Tutto sembra indicare che i giorni in cui il Sole sorgeva nello spazio tra due torri (non più di uno o due all'anno), segnassero le divisioni del calendario.



Guerrieri in combattimento: Ricostruzione artistica delle decorazioni ritrovate su alcuni vasi. Queste rappresentazioni indicano la possibile ascesa sociale di una classe di capi guerrieri.

nella piazza. Questo asse così distinto coincide, in modo molto approssimativo, con quello tracciato dall'alba nel solstizio di dicembre e dal tramonto nel solstizio di giugno.

Dai punti di osservazione, l'estensione delle torri all'orizzonte abbraccia l'intervallo compreso tra l'alba e il tramonto nel corso dell'anno. Questo indica che le torri svolgessero una funzione importante nell'osservazione solare. Abbiamo effettuato uno studio dettagliato della posizione delle torri, paragonandola poi al punto in cui, secondo i calcoli, il Sole sorse e tramontò nell'anno 300 a.C. (*si veda il box a p. 93*). Dal punto di osservazione ovest, l'alba nel solstizio di dicembre di quell'anno corrispose alla posizione della torre più a sud. Viceversa, nel solstizio di giugno il Sole sorse tra il monte Mucho Malo (distante 3 chilometri) e il lato della collina su cui sono le torri. L'evidente simmetria tra la posizione del Mucho Malo e quella delle torri, apprezzabile dal punto di osservazione ovest, suggerisce che il rilievo fosse considerato alla stregua della «torre» più a sinistra. Così, nel solstizio d'inverno, il Sole emergeva da una collina naturale e non da un artefatto umano.

Il diverso orientamento delle torri 11, 12 e 13 fa sì che, dal punto d'osservazione est, l'ultima risulti completamente nascosta alla vista. È lecito supporre che l'unica a spuntare fosse la cima della torre 12, sebbene oggi, a causa dello stato in cui versa la costruzione, nemmeno questa sia visibile. Da qui, il tramonto nel solstizio di dicembre cadeva a sinistra della torre 12, mentre nel solstizio di giugno il Sole tramontava appena a destra della prima torre.

Da entrambi i punti d'osservazione, quando il Sole cominciava a distanziarsi dalle sue posizioni estreme, qualche giorno dopo ciascun solstizio, le torri avrebbero consentito di tracciare il percorso dell'astro sull'orizzonte con un'approssimazione di due o tre giorni. Posto che lo scopo principale delle Tredici Torri fosse fungere da punto di riferimento per l'osservazione del Sole, la loro disposizione può darci qualche indicazione sul modo in cui quei popoli suddividevano l'anno?

Le torri delineavano un orizzonte artificiale: la loro altezza variabile compensava le pendenze della collina su cui furono costruite. Quest'orizzonte innaturale era suddiviso in intervalli regolari da fenditure strette e profonde, formate dagli spazi tra le torri. Quando si utilizzava il punto d'osservazione ovest, il Sole sorgeva solo per uno o due giorni in ognuno degli spazi. Quegli intervalli indicavano forse date cruciali nel corso dell'anno? La loro regolarità sembra contraddire questa ipotesi, suggerendo viceversa che il calendario fosse suddiviso in intervalli uniformi. Le albe che cadevano negli spazi tra le torri centrali (dalla terza all'undicesima) erano separate da un intervallo di circa dieci giorni, mentre quelle incorniciate dalle torri laterali (prima e seconda; dodicesima e tredicesima) questo lasso di tempo aumentava, perché avvicinandosi al solstizio il tragitto del Sole all'orizzonte si allunga. La situazione cambia nel punto di osservazione est, perché da lì la torre più meridionale è invisibile e gli spazi restanti corrispondo a intervalli di 10-12 giorni tra i tramonti.

È possibile che altre date, oltre ai solstizi, rivestissero un'importanza particolare? In tal caso l'alba o il tramonto in quelle date avrebbero coinciso con alcuni degli spazi tra le torri. Al riguardo va segnalato che in corrispondenza dell'equinozio il Sole sorge nello spazio compreso tra le torri 6 e 7. Se consideriamo il monte Mucho Malos come un'ulteriore torre, la posizione equinoziale risulta, inoltre, quella centrale. Dalla parte opposta (punto di osservazione est), il tramonto all'equinozio cade giusto a destra dello spazio in questione, che a sua volta rappresenta l'intervallo centrale tra le dodici torri visibili da quella posizione.

La definizione di equinozio in un contesto estraneo all'Occidente è forse discutibile. Siccome tutto sembra indicare che gli abitanti di Chankillo disponessero di un meccanismo per contare i giorni, forse il loro «equinozio» corrispondeva al cosiddetto «equinozio temporale» o «di Thom», il giorno dell'anno equidistante da entrambi i solstizi. Tuttavia la posizione dell'alba in quel giorno dell'anno 300 a.C. non coincide con alcuna delle torri o degli intervalli tra esse.

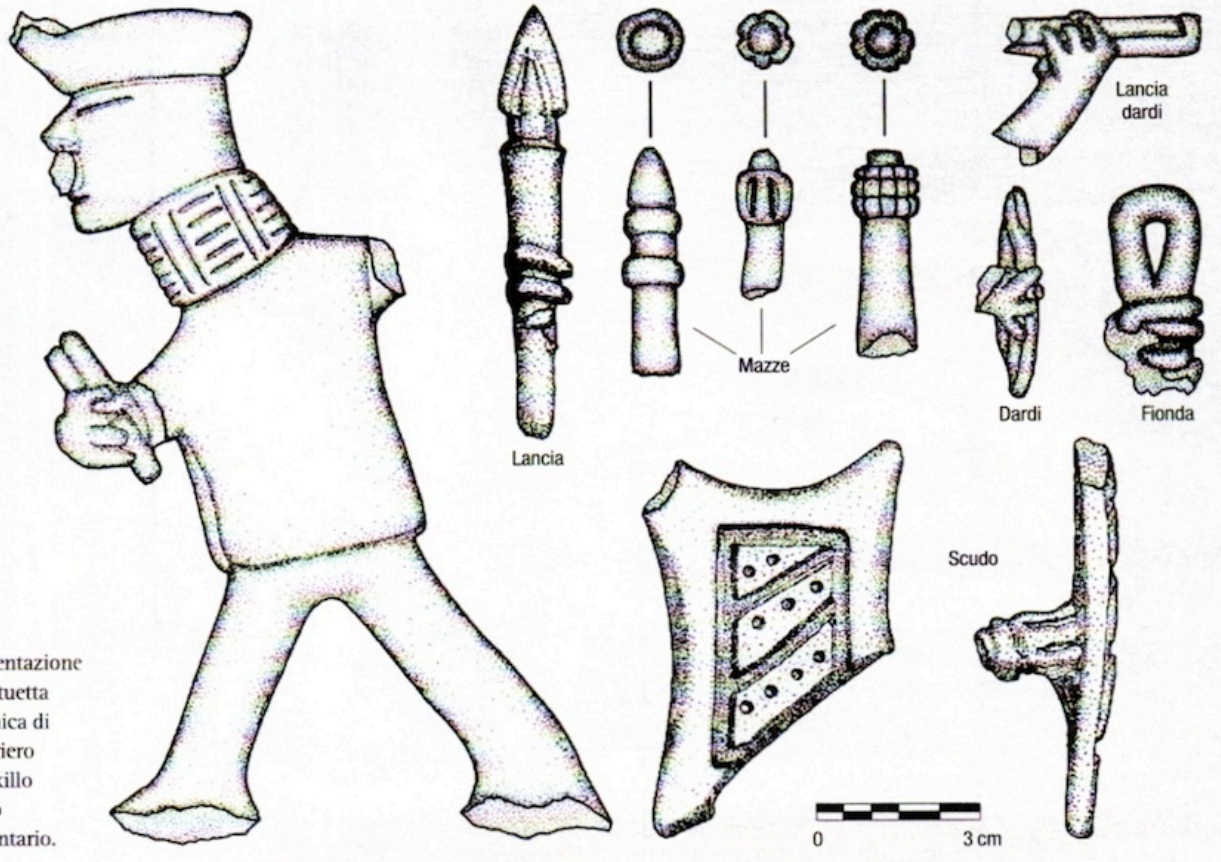
Altre date che vanno considerate sono il passaggio del Sole per lo zenit e il nadir. Vari elementi suggeriscono che quei giorni rivestissero grande importanza in alcune culture precolombiane, in particolare nella regione andina. Altre ricerche sostengono l'importanza del nadir nell'astronomia di Cuzco, benché l'ipotesi sia alquanto controversa. In ogni caso, in nessuna di queste date alba e tramonto coincidono con le Tredici Torri di Chankillo. Solo il tramonto nel giorno di passaggio del Sole allo zenit cade in uno spazio tra le torri, sebbene in modo approssimativo.

La posizione delle torri dai punti di osservazione est e ovest sembra quindi suggerire che Chankillo fungesse da osservatorio solare per costruire un calendario stagionale. I solstizi risultavano chiaramente marcati, e forse anche l'equinozio. Lo spazio tra le torri sembra indicare che il calendario fosse basato su cicli di dieci giorni.

Astronomia e potere

Di norma l'architettura cerimoniale è associata alla percezione dominante del mondo di una cultura: l'orientamento degli edifici può rimandare a un evento astronomico rilevante, la forma serve magari a conferire un «potere sacro» associato a una ricorrenza. Nel caso delle culture antiche, tuttavia, qualsiasi conclusione in merito deve partire dagli schemi di classificazione e dalle cosmologie del tempo, onde evitare clamorosi fraintendimenti. Per quanto concerne, l'astronomia, il rischio di sbagliare è piuttosto alto, essendo facile stabilire relazioni tra determinate osservazioni astronomiche e

José Luis Díaz Carranza



Armi: Rappresentazione della statuetta in ceramica di un guerriero di Chankillo e del suo armamentario.

presunti «allineamenti» architettonici. Il rischio è particolarmente alto nel caso degli allineamenti stellari, dato il gran numero di stelle e costellazioni identificabili nel cielo notturno.

È invece assai più sicuro postulare una relazione tra l'osservazione del movimento del Sole durante l'anno e l'obiettivo di regolare pratiche stagionali o di costruire un calendario solare. La configurazione spaziale delle strutture di Chankillo segue una logica evidente. In primo luogo, il sito presenta almeno due punti di osservazione: quello a ovest non lascia molto spazio al dubbio, essendo costituito da una struttura apparentemente priva di altri scopi. Inoltre la fila di torri inquadra con precisione la traiettoria d'ascesa e discesa del Sole vista da entrambi i punti di osservazione. In altri termini, non abbiamo «selezionato» arbitrariamente alcuni eventi astronomici tra innumerevoli altri: le albe e i tramonti solstiziali (eventi astronomici di notevole importanza in molte culture) sono riflessi in modo palese nell'architettura delle torri, che appaiono come remote antenate delle torri di osservazione solare degli Inca.

Quali conclusioni possiamo trarre da questa scoperta riguardo alla società che costruì e abitò Chankillo? Tutto indica che nelle piazze e negli edifici adiacenti alle Tredici Torri avessero luogo banchetti e rituali connessi all'osservazione e interpretazione dei movimenti del Sole, a cui prendeva parte un gran numero di persone. Viceversa, l'accesso ai punti di osservazione era verosimilmente riservato a pochi individui, il cui status consentiva loro di accedere agli osservatori e officiare le cerimonie, che avevano il potere di regolare il tempo, l'ideologia e i rituali legati al calendario che scandivano la vita sociale.

Gli scavi hanno portato alla luce guerrieri di ceramica provvisti non solo di armi di offesa, ma anche di scudi e altre forme di protezione del corpo. Le figure esibiscono inoltre indumenti che ne attestano lo status, come copricapi elaborati, camicie varie e ornamenti per il collo, il torso e il naso, la cui funzione è sia decorativa sia difensiva. La rappresentazione dei guerrieri indica una preoccupazione per la loro integrità fisica: i simboli del loro alto rango riflettono la possibile ascesa di una classe di capi guerrieri e il parallelo accentramento del potere nelle mani di pochi. È quindi plausibile che a Chankillo il culto del Sole e le credenze cosmologiche siano serviti a legittimare l'autorità di una élite guerriera, come accadde quasi 2000 anni dopo nella società inca. In quest'ottica, le Tredici Torri non sarebbero solo l'espressione monumentale di una conoscenza astronomica ancestrale, ma anche uno strumento per scandire il calendario cerimoniale e legittimare una gerarchia sociale consolidata.

Sono sempre di più gli indizi che il culto del Sole assurto a rango ufficiale nell'impero inca ebbe dei precursori. Ne sono un esempio le cerimonie sull'Isola del Sole, nel lago Titicaca. Data la somiglianza tra l'osservatorio solare di Chankillo e i pilastri del Sole documentati a Cuzco quasi 2000 anni dopo, sembra molto probabile che pratiche di questo genere fossero comuni alle civiltà andine. ■

PER APPROFONDIRE

El sistema de ceques del Cuzco: La organización social de la capital de los incas. Zuidema R.T., Pontificia Universidad católica del Perú, Lima, 1995.

Astronomy and empire in the ancient Andes: The cultural origins of Inca sky watching. Bauer B.S. e Dearborn D.S.P., University of Texas Press, Austin, 1995.

Hacia una comprensión conceptual de la guerra andina. Topic J.R. e Topic T.L., in *Arqueología, antropología e historia en los Andes: Homenaje a María Rostworowsky*, pp. 567-590, in R. Varón Gabai e J. Flores Espinoza (*a cura*), *Historia Andina*, vol. 21, Instituto de Estudios Peruanos, Lima, 1997.

Religious warfare at Chankillo. Ghezzi I., in W. Isabell e H. Silverman (*a cura*), *Andean Archeology III*, pp. 67-84, Springer, 2006.

Chankillo: A 2300-year-old solar observatory in coastal Peru. Gezzi I. e Ruggles C., in «Science», Vol. 315, pp. 1239-1243, 2 marzo 2007.

10000x SE 8.3 — 2 µm — 30.0 kV 1.0

le scienze.it

PER CHI AMA LA SCIENZA, SARÀ LA PIÙ GRANDE SCOPERTA.

LESCIENZE.IT IL SITO TUTTO NUOVO CHE OFFRE UN QUADRO AMPIO, AGGIORNATO E APPROFONDITO SUL MONDO SCIENTIFICO.

L'edizione italiana di "Scientific American" è online con un nuovo sito, arricchito da un notiziario scientifico, dalle pubblicazioni dei ricercatori italiani nel mondo e da una grafica chiara e accattivante. Un punto di riferimento prezioso, per essere sempre aggiornati su tutte le ultime scoperte e ricerche. In più, per chi si abbona alla rivista cartacea, il vantaggio esclusivo di poter consultare senza limiti l'intero archivio di articoli della rivista, dal 1968 ad oggi. Con Le Scienze, nasce un sito tutto da scoprire.

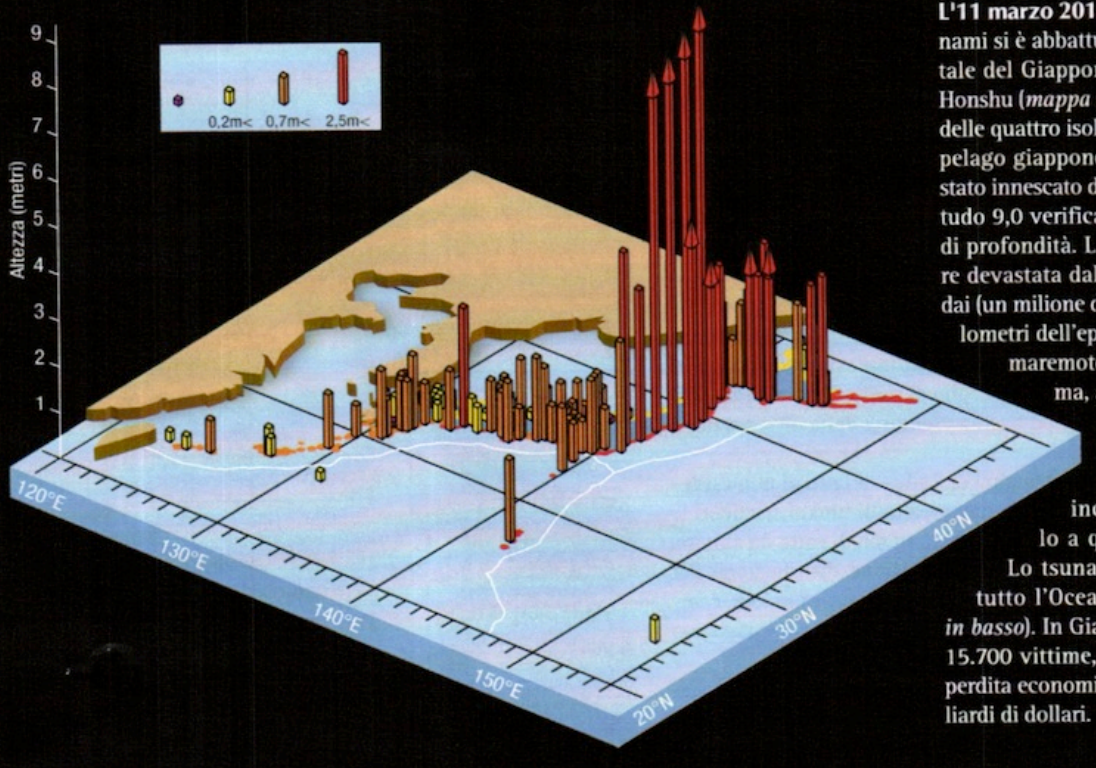
ABBONATI A "LE SCIENZE" E AVRAI ACCESSO A TUTTO L'ARCHIVIO ONLINE.

www.lescienze.it

Le Scienze

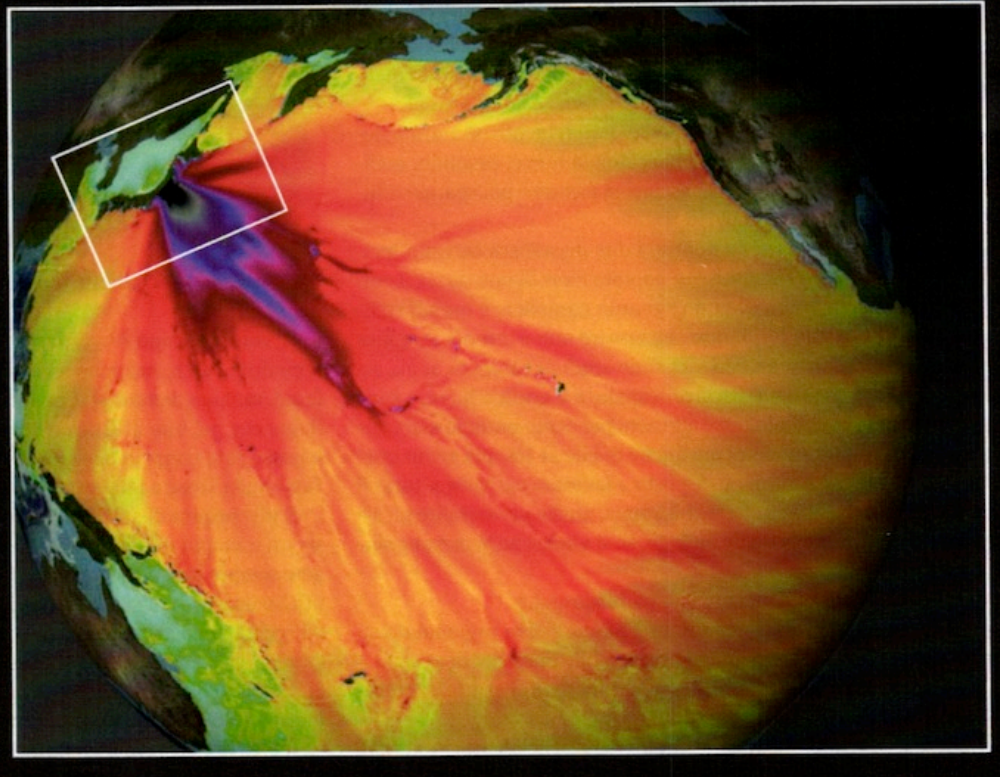
Ritratto di tsunami

Un anno fa il Giappone veniva devastato da un maremoto senza precedenti



L'11 marzo 2011 un gigantesco tsunami si è abbattuto sulla costa orientale del Giappone, in particolare su Honshu (*mappa in alto*), la più grande delle quattro isole principali dell'arcipelago giapponese. Il maremoto era stato innescato da un sisma di magnitudo 9,0 verificatosi a 32 chilometri di profondità. La prima città a essere devastata dalle onde è stata Sendai (un milione di abitanti), a 129 chilometri dell'epicentro; poco dopo il maremoto ha invaso Fukushima, a 177 chilometri, dove una centrale nucleare è andata in tilt provocando un incidente secondo solo a quello di Chernobyl. Lo tsunami si è propagato a tutto l'Oceano Pacifico (*mappa in basso*). In Giappone si conteranno 15.700 vittime, 4600 dispersi e una perdita economica stimata in 309 miliardi di dollari.

Giovanni Spataro



Dal Giappone alla California. Previsione da modello al computer delle altezze massime raggiunte dalle onde dello tsunami nell'Oceano Pacifico durante le 24 ore successive all'evento. Come si può notare, il maremoto è arrivato fino alla California, cioè sul lato opposto del Pacifico rispetto al Giappone.

Altezza delle onde (centimetri)

0 30 60 90 120 150 180 210 240+

Cortesia Japan Meteorological Agency (*mappa in alto*; cortesia NOAA / PMEL / Center for Tsunami Research (*mappa in basso*), Danilo Sossi (*grafica*)

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Imposte e gabelle (anzi dazi)

"Sapete qual è la cosa migliore del non esistere? – mormora un Doc trasognato, mentre osserva il mondo d'acquerello che si squaderna dietro la sua finestra – Che non bisogna pagare le tasse». Capita, ogni tanto: i nostri eroi si dimenticano del sacro concetto di catarsi (oltre a quello meno aulico di *fiction*), e invece di recitare il ruolo per cui sono stati inventati filosofeggiano sulla loro natura caduca e virtuale. Di solito è Piotr a finire negli interrogativi filosofici, ma Rudy e Alice riescono sempre a ricondurlo dalla metafisica alla ragion pratica.

«Non ne sarei così sicura, dottor Silverbrahms», replica Alice. «Anche se siamo soltanto personaggi di fantasia, materializzati sullo spessore infinitesimo di un foglio di rivista tramite testo e disegni, temo che questo non basti a esentarci dalla dichiarazione dei redditi».

«Non solo – ammonisce la pipa di Rudy – il fatto di non esistere non toglie che costringiamo una pletora di umani senzienti (e paganti) a fornirci beni e servizi: necessitiamo di carta da abitare, di servizi di disegno, redazione, impaginazione, distribuzione. Per quanto volatili, intorno a noi ci sono tempo, lavori e prodotti, e anche tasse. Piuttosto, la cosa migliore del non esistere è che possiamo permetterci il lusso di apprezzarle, e perfino giocarci su...».

I tre saranno pure immaginari, ma il silenzio caduto nella stanza dopo le ultime parole del Grande Capo sembra reale e solido quanto un metro cubo di piombo. Al punto che perfino Rudy ci rimane un po' male: un po' perché secondo molte teorie della comunicazione umana chi ha l'ultima parola di solito ha torto; un po' perché, persistendo il silenzio, sarebbe sfumata l'occasione di tormentare i tapini con un problema che gli è appena venuto in mente. Alla fine, è la longicrinita Alice a muoversi a compassione.

«Va bene, su, togliamoci 'sto dente. Hai in mente uno stramaledetto quesito sulle tasse, vero? Facciamola breve, esponilo, goditi la nostra espressione basita, lasciaci macerare e poi sparisci a fumare la pipa in camera tua».

Quando Treccia parte in quarta, i due maschietti cercano reciproca alleanza. Rudy deglutisce e implora Piotr di non girare il coltello nella piaga, ne riceve uno sguardo complice, e quindi spiega: «Ma volevo solo far notare che tassare non è attività semplice – mente il guru matematico – ci sono studi accurati su quale sia per lo Stato la pressione fiscale ottimale, e il grafico ha uno strano andamento a collina: tasse allo zero per cento portano zero soldi all'erario, naturalmente; ma anche quelle al 100 per cento portano zero, perché nessuno è disposto a lavorare per vedere tutto il suo guadagno sparire in tasse. Insomma, anche per stabilire un sistema di tassazione ci vuole metodo, se si vuole che le persone siano felici di...».

«Felice? Ah, questa mi pare una parola grossa!».

«Va bene: ma ci siamo capiti, no? Stavo giusto ragionando su un modello semplice, ma almeno suscettibile di un po' di analisi».

«E come no... E scommetto che nel modello l'esattore sei tu, mentre io e Piotr saremo i contribuenti, vero?».

«No, anzi guarda: ti nomino Gabelliere Ufficiale dei Rudi Matematici, e per l'occasione ti presto il cappello. Tutti i gabellieri ne hanno uno».

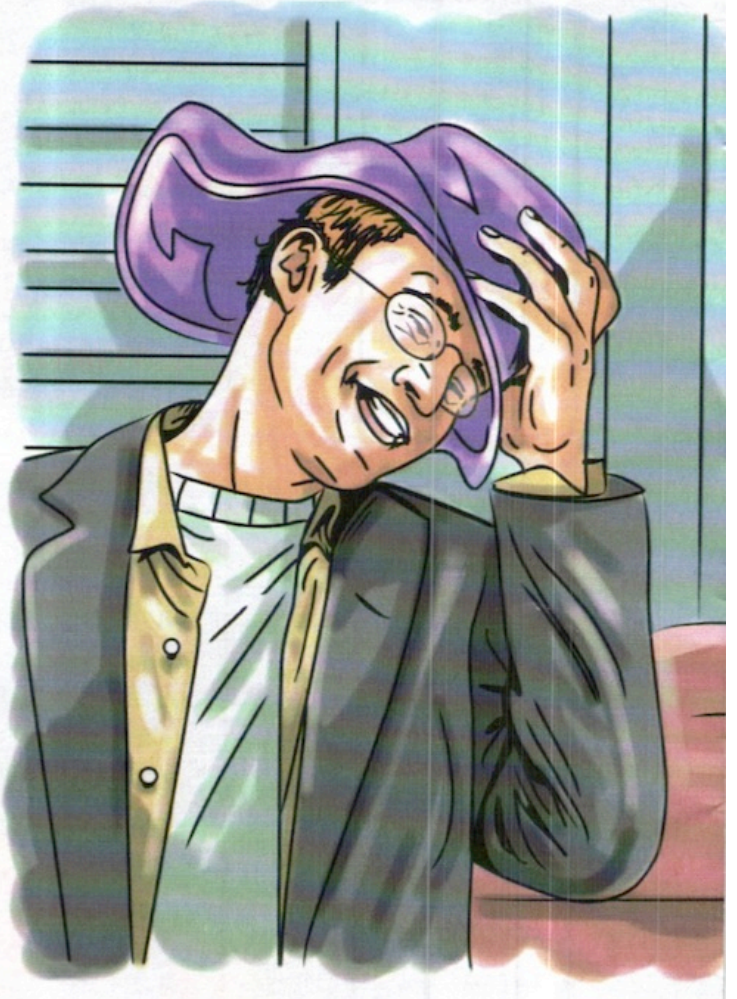


Illustrazione di Stefano Fabbri

A volte un capo di vestiario basta a placare le peggiori furie femminili. «Beh, neanche male, questo cappello... Appena un po' largo, ma può andare, sì. Che faccio adesso, tasso i passanti come il tipo che nel film di Troisi e Benigni urlava sempre "Un fiorino!", o posso fare come lo Sceriffo di Nottingham, che si inventava la Tassa sulla Tosse e l'Imposta sulle Imposte?».

Rudy sospira di sollievo. «Direi che il daziere del film di Troisi sia un esempio migliore. Solo che invece di un fiorino dovrai esigere sempre un quarto del valore del prodotto che passa per il tuo ufficio daziario; ma (e qui sta il bello) il valore del prodotto lo stabilisce il tapino che ti passa davanti, non tu».

«Che scemenza sarebbe? Se mi arriva Doc con un camion pieno di lingotti d'oro e dichiara che vale dieci centesimi io ci credo e mi intasco solo 2,5 centesimi?».

«Certo che ci credi. Ma puoi applicare la seconda e ultima regola

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di aprile e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

I Rudi sono alle prese con un problema sulle tasse e nel gioco delle parti il ruolo di gabelliere tocca ad Alice

IL PROBLEMA DI FEBBRAIO

Il mese scorso vi abbiamo presentato un quiz che, ambientazione a parte, è identico ad un vecchio problema classico di Sam Loyd, «la corsa delle patate». Si trattava di una strana gara in cui Alice e Rudy dovevano raccogliere, una alla volta, 100 patate; per handicap, Alice aveva diritto a una patata di vantaggio, e doveva scegliere quella più vantaggiosa. Si scopre che Treccia può vincere se sceglie come bonus la patata numero 99. Essendo un po' più veloce, Rudy prenderà la prima, Alice la seconda e così via, ma se Alice elimina dal novero la novantanovesima, Rudy non riuscirà mai a coprire lo svantaggio iniziale. E, su questo, noi concordiamo con Loyd: però discordiamo con lui sull'effettivo vantaggio finale con cui Alice vince la gara. Non vediamo l'ora di leggere le vostre soluzioni, per vedere chi ha ragione: naturalmente, le conclusioni le tireremo (e pubblicheremo) sul blog.

del modello di tassazione che afferma che, se vuoi, puoi comprare tutto il carico al prezzo dichiarato senza che il proprietario possa opporsi. Ergo, nel tuo esempio molli un decino all'incauto Doc e ti intaschi tutto l'oro del carico. Lui si consolerà con i tuoi dieci centesimi, che sono esentasse. È un modello con alcuni aspetti interessanti: tanto per cominciare, supponiamo che Alice sappia stimare che il carico che Doc vuole far passare vale 1000 euro. Quanto dovrebbe dichiarare allora il nostro eroe come valore di carico per ottimizzare il suo guadagno, conscio del fatto che la trecciuta Gabelliera non è nata ieri?».

«Beh – sospira cauto Piotr – forse basta calcolare che...».

«Sì, sì, Doc, non è difficile, forse puoi arrivarci persino tu. Ma complichiamo appena un po' la situazione logistica, d'accordo? La Gabelliera può decidere di acquistare quello che vuole, ma se non ha lo spazio dove mettere gli acquisti deve rinunciare. Ora, supponiamo che io e te, sapendo che Treccia ha spazio per acquistare un solo camion al giorno, ci mettiamo d'accordo di voler transitare con due camion di pari valore, e alla fine ci divideremo fraternamente i guadagni. Tu, che sarai eroicamente alla guida del primo dei nostri due camion, quanto dichiari come valore di carico?».

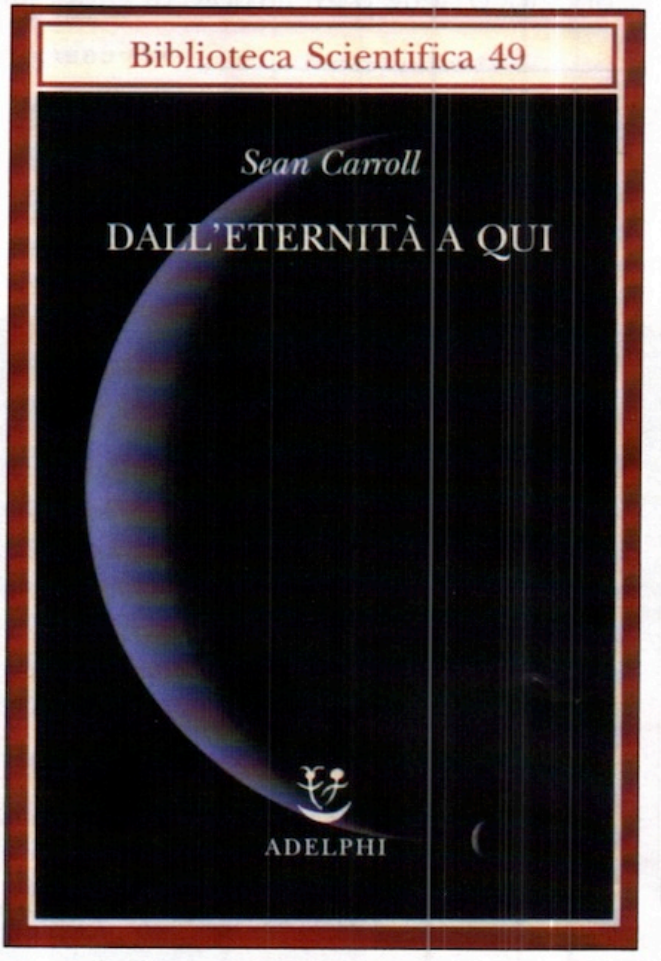
«Ecco, vi mettete sempre d'accordo per fregarmi», si lamenta Alice. «Ma la prima cosa che farò sarà ampliare il parcheggio del dazio, così la prossima volta posso acquistare entrambi i vostri maledetti camion».

Solo dopo aver pronunciato la frase Alice si accorge di essere caduta in trappola. «Brava! Lo farei anch'io!», gongola Rudy. «Ma naturalmente il problema si ripropone. Se tu hai spazio per comprare due camion, io e Doc ci accordiamo subito con altri tre amici, e ci presentiamo da te tutti insieme, con cinque bei carichi uguali. A quel punto, secondo te, come ci comporteremmo, sapendo che puoi acquistare due dei nostri cinque camion? E più in generale...».

«Più in generale, tu puoi riprenderti questo stupido cappello, Capo. Ci sei riuscito: dopo questa tiritera, le tasse preferisco pagarle piuttosto che esigerle, pensa un po'...».

Quando il cosmo non era una frittata

Dall'eternità a qui
di Sean Carroll
Adelphi, Milano, 2012, pp. 486 (euro 34,00)



Che cosa accomuna la stanza di un adolescente, una frittata e l'evoluzione dell'universo a partire dal big bang? A rispondere si azzarderebbero solo i fisici, scommettendo che la stanza dell'adolescente, con il passare del tempo, debba evolvere verso uno stato di maggiore disordine, con un complessivo rimescolamento degli elementi presenti. Allo stesso modo, non è difficile che le molecole delle uova, complici la frusta e la mano del cuoco, e buon ultimo il calore della fiamma, si dispongano disordinatamente e con nuovi legami fino a produrre quella che nel mondo macroscopico tutti chiamano frittata.

Come sancito dal secondo principio della termodinamica, l'entropia di un sistema isolato – una misura del suo grado di disordine – può solo aumentare, o al massimo rimanere costante. Ecco allora che alla percezione umana si offrono numerosi fenomeni che si presentano come irreversibili: risistemare le molecole della frittata fino a ottenere le uova originarie è un processo che va ben oltre le nostre possibilità. Dall'insieme di tutti questi processi la nostra mente ricava il concetto di «freccia del tempo», l'idea secondo cui la realtà fisica evolve seguendo una dinamica che, per quanto confusa possa apparire, non può invertire la sua direzione: esistono un prima e un dopo che non si possono scambiare. E se tutto questo vale anche per l'universo nel suo insieme, allora nella sua configurazione iniziale esso doveva essere estremamente ordinato.

Ma come è possibile che un simile stato a bassa entropia si sia realizzato, dando la possibilità di verificarsi a tutti i processi irreversibili che osserviamo? Proprio da questo interrogativo prende le mosse l'ultimo saggio firmato da Sean Carroll, ricercatore del Dipartimento di fisica del California Institute of Technology. Per chiarire i termini della questione occorre ripercorrere tutte le grandi teorie della fisica.

Nella meccanica newtoniana, per cominciare, la freccia del tempo non è individuabile, perché i processi sono reversibili: il moto di una palla da biliardo può essere studiato considerando il tempo che scorre all'indietro senza che vi sia una violazione delle leggi della dinamica. L'irreversibilità fa capolino nella descrizione del mondo quando ci si trova di fronte un sistema con un numero enorme di corpi microscopici, come nel caso di un gas, e occorre ricorrere a leggi statistiche. «Quando pensiamo macroscopicamente – sintetizza bene Carroll – dimentichiamo (o ignoriamo) le informazioni dettagliate riguardanti le singole particelle, ed è qui che entrano in gioco l'entropia e l'irreversibilità».

E se, considerando le particelle come biglie elastiche, l'irreversibilità pare emergere solo nel passaggio dal micro al macro, con la meccanica quantistica l'irreversibilità entra prepotentemente nelle leggi fisiche. Descrivendo lo stato delle particelle in termini di funzioni d'onda probabilistiche e considerando la misura come frutto del loro «collasso» istantaneo, si introduce un'intrinseca freccia del tempo: «Le funzioni d'onda collassano ma non de-collassano».

La faccenda si complica ulteriormente se dal micromondo si alza lo sguardo al cielo, per così dire. Entrando nel regno della cosmologia, per poter affermare qualcosa sul tempo nell'universo nel suo insieme bisogna affrontare una sfida epocale: combinare la meccanica quantistica con le leggi che governano la gravitazione a scale dimensionali molto grandi, ovvero con la teoria della relatività generale. Si apre così la strada a una pletora di scenari altamente speculativi sull'evoluzione dell'universo e sul significato del big bang, a cui Carroll dedica ampio spazio per poi concludere nelle pagine finali che «le migliori teorie di cui disponiamo si rivelano incomplete in modo imbarazzante quando sono messe di fronte alla caratteristica più evidente dell'universo, ossia la differenza di entropia tra i primi istanti e quelli recenti».

In definitiva, «qual è la risposta?», si domanda l'autore, forse consapevole di aver accompagnato il lettore in un territorio in cui i riferimenti si sono un po' persi. Non c'è, per ora. Ma la strada pare segnata: «Solo trasformando le idee più promettenti in teorie vere e proprie che si possano confrontare con l'esperimento e conciliare con il resto della fisica» si potrà forse dare un senso più ampio al concetto di tempo e alla sua direzione.

Folco Claudi

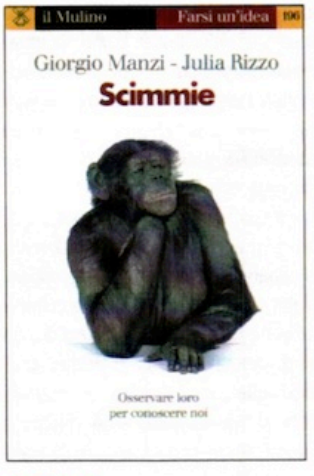
Storie di scienziati che non rispettano l'etica della ricerca

Il Nobel e l'impostore
di David Goodstein
Edizioni Dedalo, Bari, 2012
pp. 176 (euro 16,00)

Esiste la frode scientifica? Con che strumenti si smaschera? Due domande a cui David Goodstein cerca di dare una risposta da almeno vent'anni, da quando al California Institute of Technology ha cominciato a insegnare etica della ricerca scientifica e dopo aver fatto parte di diverse commissioni di valutazione di ricerche sospette. Il suo lavoro lo ha portato ad analizzare meticolosamente quella serie di principi condivisi che reputiamo regolino l'operato della comunità scientifica a qualsiasi latitudine. Se le difficoltà di individuare uno e un solo metodo scientifico è materia del dibattito epistemologico che nel Novecento passa da Karl Popper a Paul Feyerabend, meno visibile è il lavoro di istituzioni di ricerca e di finanziamento della scienza che almeno da metà degli anni ottanta cercano di delineare linee guida che permettano di reagire nel migliore dei modi quando si sollevano sospetti nei confronti del lavoro di un ricercatore.
È qui che il libro di Goodstein diventa più interessante, quando dalla teoria e dalla letteratura passa al racconto di casi reali di frodi vere o presunte, come la fusione fredda di Stanley Pons e Martin Fleishmann o i superconduttori organici di Jan Hendrik Schön. Lo sguardo si posa su retroscena di quei dibattiti, magari ancora aperti. Il giudizio dell'autore è, in fin dei conti, benevolo, perché – sostiene – sono molto rari i casi in cui le frodi siano commesse con reale malizia. Più probabile che la falsificazione o la cucina dei risultati sia il frutto di una reale convinzione dello scienziato, resa ancora più facile dalla forte pressione di un ambiente competitivo. Ciò non toglie che qualche frode sia realmente avvenuta, in barba all'efficacia della *peer-review* e alla convinzione che scienza faccia rima con bene.

Marco Boscolo

Capire gli esseri umani grazie ai comportamenti delle scimmie



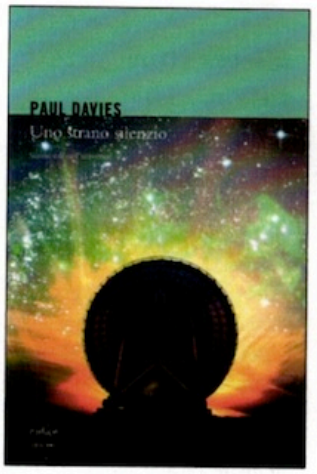
Scimmie
di Giorgio Manzi e Julia Rizzo
Il Mulino, Bologna, 2011
pp. 132 (euro 9,80)

Ci sono scimmie che mostrano una certa sensibilità nei confronti dei loro simili o, al contrario, li ingannano. Ce ne sono altre capaci di rompere una noce con un sasso, lavare e salare le patate. Ci sono le proscimmie, la cui diversità attuale ha origine nel tempo profondo, come i lemuri del Madagascar; le scimmie del Nuovo Mondo, apparse circa 40 milioni di anni fa, come i cebi dai cornetti; e poi quelle del Vecchio Mondo, a cui appartiene anche *Homo Sapiens*.
Insomma, prima di dire scimmia bisogna sapere bene di che cosa si stia parlando. Per farsene un'idea, e per districarsi fra le 200-400 specie (dipende dalla classificazione che si usa) di primati viene in aiuto il vademecum scritto da Giorgio Manzi e Julia Rizzo.
Paleoantropologo di fama e direttore del Museo di antropologia «Giuseppe Sergi» il primo, biologa e divulgatrice la seconda, sviluppano un percorso articolato ma efficace intorno al complesso mondo dei primati. L'idea, come recita anche il sottotitolo del libro, è «osservare loro per conoscere noi». Una promessa che non può essere mantenuta se prima non si mettono a fuoco alcuni concetti e termini chiave, troppo spesso dati per scontati, a cui sono saggiamente dedicati i primi capitoli del libro. Nell'ultima parte, invece, trovano spazio i racconti dei comportamenti osservati in alcune specie di scimmie, in parte simili a quelli umani. La scrittura è sempre vivace e ricca di aneddoti e curiosità. Molto apprezzabile l'appendice bibliografica, con indicazioni di libri, articoli, siti Internet e contenuti multimediali dove approfondire la conoscenza del variegato mondo delle scimmie.

Letizia Gabaglio

Ricercatori talentuosi cercasi

Sei un giovane scienziato? Pensi di avere talento per la comunicazione al pubblico? Bene, in Italia è arrivato FameLab, il *talent show* che fa per te e che, tanto per essere chiari, non ha nulla a che vedere con i talent show canori e danzarecci che affollano i palinsesti. La sfida è semplice ma ardua: comunicare con il pubblico in tre minuti al massimo un argomento scientifico che appassiona. Niente *slide*, niente video, a FameLab si usano solo le parole; al massimo ci si può aiutare con oggetti che entrano in tasca. I concorrenti sono valutati da una giuria di esperti provenienti dal mondo scientifico e da quello della comunicazione.
Possono partecipare a FameLab studenti universitari, ricercatori, insegnanti, ricercatori in aziende o centri di ricerca dai 20 anni in su; non possono partecipare comunicatori professionisti, artisti, *performer*, membri di staff di musei o *science center*, giornalisti. Le selezioni locali si svolgeranno dal 25 al 31 marzo a Perugia, Napoli, Trento e Bologna. In ciascuna città verranno selezionati due talenti che parteciperanno alla finale nazionale organizzata come evento speciale del Perugia Science Fest.
Il vincitore italiano andrà infine alla finale internazionale a Cheltenham, nel Regno Unito, alla quale parteciperanno altri talenti provenienti da 19 paesi di Europa, Asia, America e Africa. Per tutte le informazioni: http://www.famelab-italy.it.
FameLab nasce nel 2005 a Cheltenham, in occasione del locale festival della scienza. In Italia è arrivato grazie al Perugia Science Fest e ai successivi accordi di collaborazione con Museo delle scienze di Trento, Fondazione IDIS Città della Scienza di Napoli e Formica Blu di Bologna. (*cb*)



Uno strano silenzio
di Paul Davies
Codice Edizioni, Torino
pp. 256 (euro 19,00)

Dobbiamo rassegnarci a essere soli nell'universo?

Sono passati più di cinquant'anni dai primi tentativi di captare segnali radio provenienti da civiltà extraterrestri. Da allora un programma di ricerca scandaglia lo spazio sperando di registrare un segnale emesso da forme di vita aliene intelligenti. Fino a oggi però il risultato è stato solo il silenzio. Paul Davies è un fisico del Search for ExtraTerrestrial Intelligence (SETI), programma di radioastronomia che ha base in California. L'idea di SETI è nata dalla curiosità di Frank Drake, giovane astronomo che nel 1960 prese sul serio le ipotesi sulla vita extraterrestre e gli studi sulla possibilità di usare onde radio per comunicazioni interstellari. Drake puntò un radiotelescopio verso una stella lontana 11 anni luce e non ricevette alcun segnale.

Perché continuare la ricerca, dopo cinquant'anni di silenzio? Dobbiamo rassegnarci a essere soli nell'universo? È questa la domanda principale del libro di Davies. Il programma SETI infatti è oggetto di critiche. Innanzitutto non è falsificabile: dato che il suo scopo è la ricerca di qualcosa di cui non conosciamo l'esistenza, potrebbe andare avanti per sempre. C'è addirittura chi lo considera una religione, ma Davies non la pensa così. L'autore presiede il comitato di SETI deputato a decidere che cosa fare in caso di contatto con gli alieni, il Post-Detection Taskgroup. Il suo cruccio, casomai, è capire in che modo le religioni organizzate (e i governi, i cittadini, i media) potrebbero reagire alla scoperta della presenza di vita intelligente su altri pianeti.

Uno dei problemi principali di SETI è proprio scegliere che cosa cercare e come: in fondo non sappiamo in che modo un'eventuale civiltà aliena invierebbe i suoi messaggi, con che strumenti, e che tipo di intelligenza potrebbe avere. Per questo *Uno strano silenzio* è un libro sulla storia dell'astronomia e dell'esplorazione dello spazio, sulla comparsa della vita sul nostro pianeta e ovviamente sull'astrobiologia, cioè sulla scienza che studia le condizioni per la comparsa della vita su altri pianeti. Infine, senza curiosità e immaginazione non ci sarebbe nessun progetto SETI. Questo libro, diretto a un pubblico di curiosi con nozioni scientifiche di base, è parte dello sforzo per rendere avvincenti le attività del progetto di cui Davies fa parte. Da anni il governo statunitense e la NASA hanno smesso di finanziare il programma, che è supportato solo da donazioni private. SETI sopravvive grazie alla sua capacità di mantenere in vita il sogno dell'incontro con una civiltà aliena, e almeno in questo ha avuto un grande successo.

Alessandro Delfanti

Una piramide di problemi
di Claudio Bartocci
Raffaello Cortina, Milano, 2012
pp. 388 (euro 29,00)

Il mondo moderno dei matematici dell'Ottocento

Stazione di Berlino, settembre 1891. Di ritorno dal congresso dei matematici tedeschi svoltosi ad Halle, David Hilbert discute animatamente dei fondamenti della geometria con due colleghi, ed esclama «invece di "punti, rette, piani", dobbiamo ugualmente poter dire "tavoli, sedie, boccali di birra"». Una battuta forse apocrifa, ma che sintetizza bene lo spirito del tempo: il tentativo di rifondare e poggiare su solide basi la geometria, ma con l'attenzione rivolta alla forma logico-matematica e non agli oggetti su cui la scienza dello spazio ha costruito da sempre i suoi teoremi.

Sul finire del XIX secolo ormai i matematici hanno maturato una nuova visione della geometria, dopo due millenni di dominio (quasi) incontrastato degli *Elementi di Euclide*, pietra angolare dell'evidenza incontestabile. Per esempio con il sorgere delle geometrie non euclidee, che pure in principio suscitano forte scetticismo, oltre a costare notevoli fatiche concettuali (in una lettera al figlio János, Farkas Bolyai lo scongiura di non occuparsi del postulato delle parallele, che «deve ispirarti ripugnanza, ha spento ogni luce, cancellato ogni gioia della mia vita»). Ma anche con lo sviluppo portentoso di campi come la topologia, la teoria dei gruppi di trasformazioni, la geometria proiettiva, l'analisi tensoriale, che diverranno strumenti matematici decisivi per teorie scientifiche del Novecento come la relatività. Questo denso volume di Claudio Bartocci documenta che il lavoro dei matematici dell'Ottocento non sia affatto un cumulo di polverosi teoremi ormai superati dalla matematica contemporanea, bensì un laboratorio di concetti e strumenti che ha innervato lo sviluppo delle scienze del Novecento, e una fucina di problemi aperti con i quali i matematici si trovano ancor oggi a fare i conti.

E lo fa raccontando col gusto del rigore e dei dettagli le biografie scientifiche dei grandi protagonisti, da Gauss a Hilbert passando per Lobačevskij, Riemann, Klein, Möbius, Beltrami e numerosi altri, ben inquadrati nel clima culturale del tempo. Dedicando ampio spazio alla genesi di idee cardine come quella di varietà introdotta da Riemann. E con lo sguardo aperto sulle contaminazioni tra geometria filosofia e fisica che si rivelano decisive per mutare in profondità l'idea di spazio ereditata dagli antichi. Se Dante nel *Convivio* affermava che «la geometria è bianchissima in quanto è senza macula d'errore e certissima per sé», a partire dal secolo che pure vide trionfare il positivismo, abbiamo imparato a dubitare della nostra visione ingenua dello spazio, a rappresentare l'inimmaginabile e a inventare nuovi mondi.

Marco Motta

La conquista delle frontiere polari

A Torino, una mostra racconta gli esploratori e le esplorazioni più importanti che hanno permesso all'umanità di conquistare Polo Nord e Polo Sud

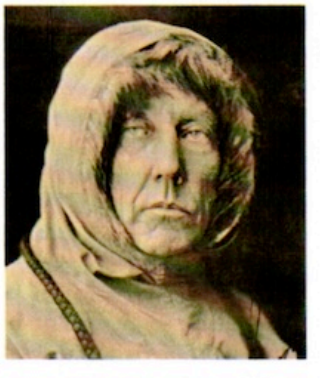
La spedizione tra Norvegia e Giappone nel Passaggio a nord-est, l'esplorazione della Groenlandia e delle sue vette immacolate, la celebre Tenda Rossa che tinse di tragedia l'impresa di Umberto Nobile che tentava di sorvolare il Polo Nord. E ancora il Passaggio a nord-ovest, i rapporti con gli Inuit, la progettazione di navi mitiche come la *Fram*, con la chiglia a forma di gheriglio di noce per «galleggiare» nei mari ghiacciati senza esserne stritolata. Tutte imprese che hanno segnato il periodo compreso tra la fine dell'Ottocento e i primi anni del Novecento, quando la sete di conoscenza spinse gli uomini verso le ultime frontiere rimaste da esplorare e, di conseguenza, verso la leggenda. Un'atmosfera fotografata dalla mostra del Museo regionale di scienze naturali del Piemonte che celebra due anniversari cruciali per le imprese polari: 150 anni dalla nascita di Fridtjof Nansen e 100 anni dalla competizione tra Roald Amundsen e Robert Scott per la conquista del Polo Sud.

Il «ministro che arriva dal Polo Nord», come fu soprannominato Nansen quando era ambasciatore della Norvegia a Londra, nel 1888 attraversò per primo la Groenlandia e più tardi stabilì il record di avvicinamento al Polo Nord dell'epoca: 86° 14′ Nord. Premio Nobel per la pace per la sua attività di mediatore, Nansen fu anche un uomo di scienza: fu il primo docente di oceanologia all'Università di Oslo e venne a Pavia per discutere con Camillo Golgi. Grande ammiratore di Nansen, Amundsen era a capo della prima spedizione che raggiunse il Polo Sud il 14 dicembre 1911, battendo di qualche settimana la spedizione di Scott. La competizione tra i due ebbe tutti gli elementi del romanzo d'avventura, tanto che alla partenza, solo Amundsen e pochi altri erano a conoscenza della vera destinazione, per non avvantaggiare l'avversario. L'impresa del norvegese fu fruttuosa anche per una migliore scelta del percorso. Amundsen, infatti, aveva studiato i resoconti della spedizione di Ernest Shackleton, individuando nella baia di Ross il punto più adatto per l'inizio della traversata e ottenendo così un vantaggio di circa 100 chilometri rispetto ai britannici, che sbarcarono a Cape Evans.

Le conquiste di Amundsen e Nansen sono un tassello fondamentale dell'esplorazione geografica. Dopo di loro, la frontiera più estrema sarà staccare i piedi da terra per avvicinarsi alle stelle. Ma questa è una storia che comincia quarant'anni e due guerre mondiali più tardi.

Marco Boscolo

Eroi del ghiaccio. Nansen (*qui sotto*) e Amundsen (*al centro*). In basso, l'italiano Guido Monzino al Polo Nord nel 1971. A sinistra, la nave *Stella Polare* della spedizione al Polo Nord del Duca degli Abruzzi a cavallo tra 1899 e 1900.



Dove & quando:

150 ANNI DI ESPLORAZIONI POLARI
Fino all'11 marzo al Museo Regionale di Scienze Naturali del Piemonte
Via Giolitti 36, Torino
www.regione.piemonte.it/museoscienzenaturali

Cortesia Museo regionale di scienze naturali (*tutte le foto, 4*)

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Il cigno nero e l'onere della prova

A chi spetta l'onere della prova quando di parla di fenomeni bizzarri o incredibili?

Poche settimane fa, al termine di una mia conferenza sulle bufale mediatiche, uno spettatore mi si è avvicinato. Con lo sguardo del gatto che pregusta di balzare sul topo, mi ha chiesto se potevo dimostrargli che non esistono le «scie chimiche» (presunte irrorazioni segrete di veleni fatte dagli aerei e visibili come scie bianche in cielo). Certo che no, gli ho risposto in tutta sincerità. Se n'è andato soddisfattissimo di aver liquidato in un sol boccone le dettagliate argomentazioni tecniche che avevo esposto poco prima e che smentivano questa tesi di complotto, approdata più volte anche nel nostro Parlamento.

Questo genere di situazione si presenta spesso in campo scientifico: si chiede di dimostrare, per esempio, che i telefonini, gli elettrodotti o i vaccini non sono pericolosi o che il mostro di Loch Ness o i marziani con dodici mani non esistono, e quando la scienza correttamente rifiuta di rispondere in termini così assoluti ci si indigna e si obietta che allora l'approccio scientifico è debole e quindi quello alternativo merita almeno la stessa dignità.

Ma questa argomentazione è viziata da un errore di fondo diffuso: la pretesa di ottenere dichiarazioni scientifiche di non esistenza. Per esempio, la scienza è capace di dimostrare che lo yeti non esiste? No. Può fornire argomentazioni che rendono molto improbabile la sua esistenza, può ragionare induttivamente che se lo yeti è stato cercato in lungo e in largo e non è ancora stato trovato vuol dire che probabilmente non esiste, ma il ragionamento non dimostra in termini assoluti che da qualche parte, in qualche caverna himalayana inesplorata, non ci sia uno yeti molto desideroso di privacy. Per farlo sarebbe necessario visitare ogni anfratto di tutto il pianeta: un'impresa impossibile, e forse inutile, perché lo yeti potrebbe giocare a rimpiattino cambiando nascondiglio. Per contro, per dimostrare che questa creatura esiste basterebbe trovarne un solo esemplare.

È per questo che l'onere della prova spetta a chi afferma che un certo fenomeno si verifica ed è scorretto chiedere a chi è scettico in proposito di asserire e dimostrare che il fenomeno non c'è. L'esistenza si dimostra facilmente; la non esistenza no.

C'è un esempio storico curioso in proposito. Per un millennio e mezzo, da quando Giovenale parlò del cigno nero come paragone di rarità straordinaria (la proverbiale *rara avis*), in Europa quest'uccello divenne una metafora di tutto ciò che non poteva esistere. Tutti i cigni osservati erano bianchi, quindi pareva logico affermare che tutti i cigni sono bianchi. Ma nel XVIII secolo gli esploratori europei in Australia scoprirono cigni neri, mandando a rotoli la metafora e (almeno apparentemente) anche il ragionamento.

Sarebbe scorretto, però, interpretare l'episodio dei cigni neri come un fallimento del ragionamento induttivo e quindi liquidare l'approccio scientifico che si basa su di esso. Questo approccio non offre certezze assolute, ma consente assunti ragionevoli e pratici. Per esempio, non abbiamo la certezza assoluta che il Sole sorgerà domattina, ma ci conviene ritenerlo assai probabile sulla base dell'esperienza, anche perché l'alternativa sarebbero la paralisi e il caos.

È vero che Bertrand Russell, con il suo celebre tacchino induttivista (convinto della benevolenza dell'allevatore che lo nutriva ogni mattina fino al giorno in cui gli tirò il collo), ha evidenziato i limiti del ragionamento basato sull'esperienza. Ma usare la mancanza di certezze assolute come alibi per respingere le argomentazioni scientifiche sarebbe un limite anche peggiore, perché non consentirebbe alcun progresso. Per questo, forse, è un approccio così frequente fra chi non vuole cambiare le proprie credenze.

Metafore viventi. Esemplari di cigno nero (*Cygnus atratus*), animale originario dell'Australia, per lungo tempo metafora di fenomeno altamente improbabile, addirittura impossibile.

WIN-Images/Corbis

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore e aspirante cuoco interessato all'esplorazione scientifica del cibo. Autore di *Pane e Bugie* e *OGM tra leggende e realtà*

Mascarpone fai-da-te

Questo latticino si ottiene dalla coagulazione di panna riscaldata in ambiente acido

Il dessert italiano più conosciuto e apprezzato nel mondo è sicuramente il tiramisù. Questo dolce al cucchiaio, inventato negli anni settanta nel ristorante trevigiano «le Beccherie», deve almeno parte del suo successo alla cremosità del suo ingrediente fondamentale: il mascarpone. Questo latticino ricco di grassi, fino al 50 per cento, chiamato anche mascherpone, è spalmabile, cremoso, di sapore pannoso un poco acidulo, da consumarsi fresco perché facilmente deperibile. Originario della Lombardia, una volta era prodotto artigianalmente solo nei mesi invernali, quando il freddo aiutava a ridurre il rischio di deterioramento del prodotto dovuto a ossidazioni e fermentazioni indesiderate durante la produzione e la breve conservazione. Il nome deriva dal termine dialettale lodigiano *mascherpa*, che significa «ricotta», dato che la preparazione del mascarpone ricorda molto quella della più magra ricotta.

Il mascarpone è il risultato della coagulazione acido-termica della crema di latte, chiamata anche panna. Contrariamente ad altri prodotti in cui l'acidificazione è dovuta alla produzione di acido lattico da parte di batteri, nel mascarpone, come nella ricotta, l'acidità aumenta aggiungendo un acido dopo aver riscaldato la panna. In genere si usa acido citrico, ma si usano anche altri acidi organici come l'acido acetico o l'acido tartarico. In passato a livello artigianale si usava succo di limone o aceto per far avvenire la coagulazione.

Le proteine del latte e della panna si possono dividere in due categorie: caseine e sieroproteine. Le caseine sono la maggioranza, non si sciolgono nel siero e opportunamente coagulate danno, insieme al grasso, struttura ai formaggi. Le proteine del siero sono invece solubili in acqua e spesso rimangono nel siero dopo la caseificazione.

Le caseine sono presenti nel latte sotto forma di micelle, strutture microscopiche composte di proteine e fosfato di calcio. Le micelle hanno carica negativa, e tendono a respingersi a vicenda e quindi a restare separate. In presenza di acidi la repulsione tra micelle si riduce, e queste strutture iniziano ad aggregarsi e a legarsi formando un reticolo tridimensionale. Scaldando il latte o la panna tra 80 e 90 gradi Celsius le sieroproteine si denaturano e si possono associare, dopo l'acidificazione, alle micelle di caseina, legarsi tra loro e contribuire a formare un gel.

Veniamo alla ricetta casalinga: mettete in un pentolino 150 grammi di panna fresca e 50 grammi di latte intero. In questo modo avrete una crema con circa il 27 per cento di grassi. Ora scaldate a fuoco basso fino a circa 85 gradi Celsius. Mantenete questa temperatura, aiutandovi con un termometro da cucina, per cinque minuti. In questo lasso di tempo una parte delle sieroproteine si denatura. Ora spegnete il fuoco e aggiungete, mescolando, 5 millilitri di una soluzione di acido citrico al 5 per cento. L'acido citrico per uso alimentare lo potete trovare nei negozi di enologia, anche *on line*, o in farmacia. Altrimenti potete usare 5 millilitri di succo di limone filtrato, anche se in questo caso il controllo del pH non è così accurato.

Porzione di tiramisù. Dolce inventato in Italia negli anni settanta in un ristorante trevigiano, il tiramisù ha il mascarpone come ingrediente fondamentale.

L'acido causa una rapida coagulazione delle proteine. A causa dell'elevato contenuto di grasso non si nota una cagliata come per la ricotta, ma solo un ispessimento della panna, dovuto alla formazione di piccolissimi grumi. Lasciate raffreddare una decina di minuti e poi versate in un colino con sopra un telo o un filtro di carta, sopra un recipiente. Mettete in frigorifero e lasciate spurgare il siero per almeno otto ore. Quando il mascarpone si stacca facilmente dal telo è pronto per essere trasferito in un contenitore e consumato. Oltre che per preparare dessert e creme varie potete usarlo per molte preparazioni al posto della panna. Oppure semplicemente gustarlo con un po' di zucchero e del cacao amaro spolverato sopra.

Laurence Mouton/ZenShui/Corbis

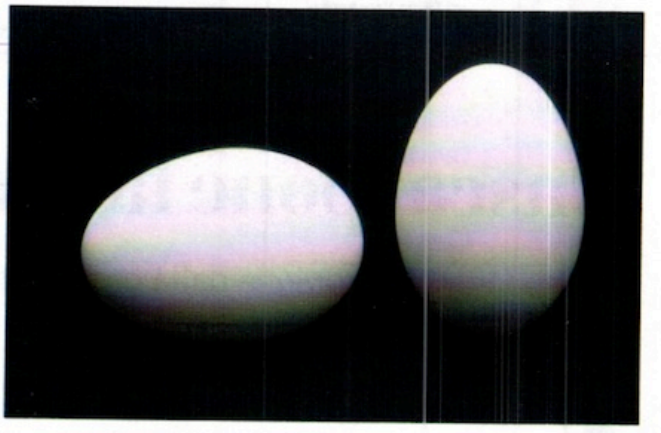
Prossimo numero

ad aprile

Uovo

di Manuela Monti e CarloAlberto Redi

La cellula uovo è un fantastico laboratorio in miniatura, capace di sostenere sia lo sviluppo di un nuovo essere vivente, con o senza spermatozoi, in natura o *in vitro*, sia la riprogrammazione genetica di nuclei somatici portando alla nascita di cloni e alla formazione di staminali embrionali. La dissezione dei suoi costituenti citoplasmatici ne permetterà l'uso come «riprogrammoma» e come bioreattore per la produzione alimentare e farmacologica.



Lo spazio è digitale?

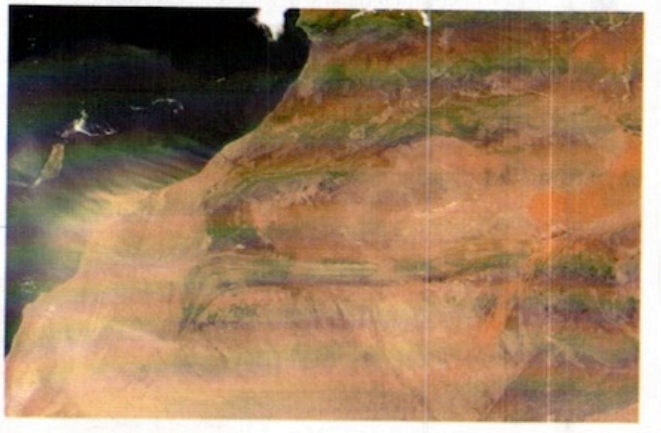
di Michael Moyer

Lo spazio potrebbe non essere omogeneo e continuo, ma composto da minuscoli elementi discreti, paragonabili a bit. Un esperimento in via di costruzione cercherà di misurare le connessioni tra informazione, materia e spazio-tempo, investigando il principio che l'universo emerga da informazione impressa su strati bidimensionali.

Sulle ali del vento

di Jeffrey Bartholet

A dispetto dei tanti studi sull'inquinamento, la correlazione tra la polvere naturale e l'atmosfera è stata a lungo trascurata. Solo di recente numerose ricerche hanno iniziato ad analizzare il modo in cui la polvere influenza il clima, la formazione delle nubi, la fertilizzazione degli oceani e delle foreste pluviali.



LE SCIENZE S.p.A.
Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso,
via Cristoforo Colombo 98, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Alessandro Alacevich, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - febbraio 2012

Copyright © 2011 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson, Christine Soares, Gary Stix, Kate Wong.

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and publisher: Bruce Brandfon;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Elena Bernacchi: *Verso lo spazio profondo*; Andrea Capocci: *La scienza della gloria;* Daniele Gewurz: *Buchi neri intermedi*; Lorenzo Lilli: *Più cibo, meno energia;* Fabrizio Maronta: *L'osservatorio solare più antico d'America;* Cristina Serra: *Il paziente scienziato;* Alfredo Tutino: *Una nuova strada verso la longevità. Un'idea sbagliata sulle origini dell'uomo.*

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel.199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto più 6,19 cent di euro alla risposta iva inclusa); Fax 02 26681991
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 70648237

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 7,80
Estero	
abb. annuale	€ 52,00
abb. biennale	€ 87,00
abb. triennale	€ 110,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7195 del 14/12/2011

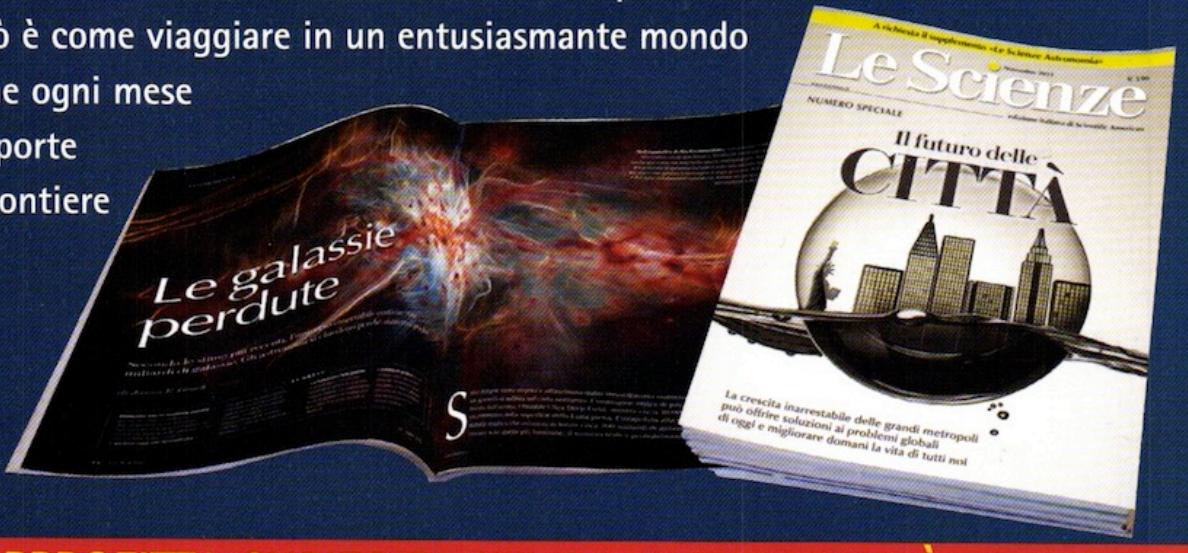
Harris/photocuisine/Corbis (uovo). Cortesia Jacques Descloitres, radiffre.sci.gsfc.nasa.gov/MODIS/Land Rapid Response Team, NASA GSFC (Sahara)

SPECIALE ABBONAMENTO

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

Leggere un numero de Le Scienze è come vivere una piacevole avventura. Abbonarsi però è come viaggiare in un entusiasmante mondo di scoperte, che ogni mese ti spalanca le porte delle ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.



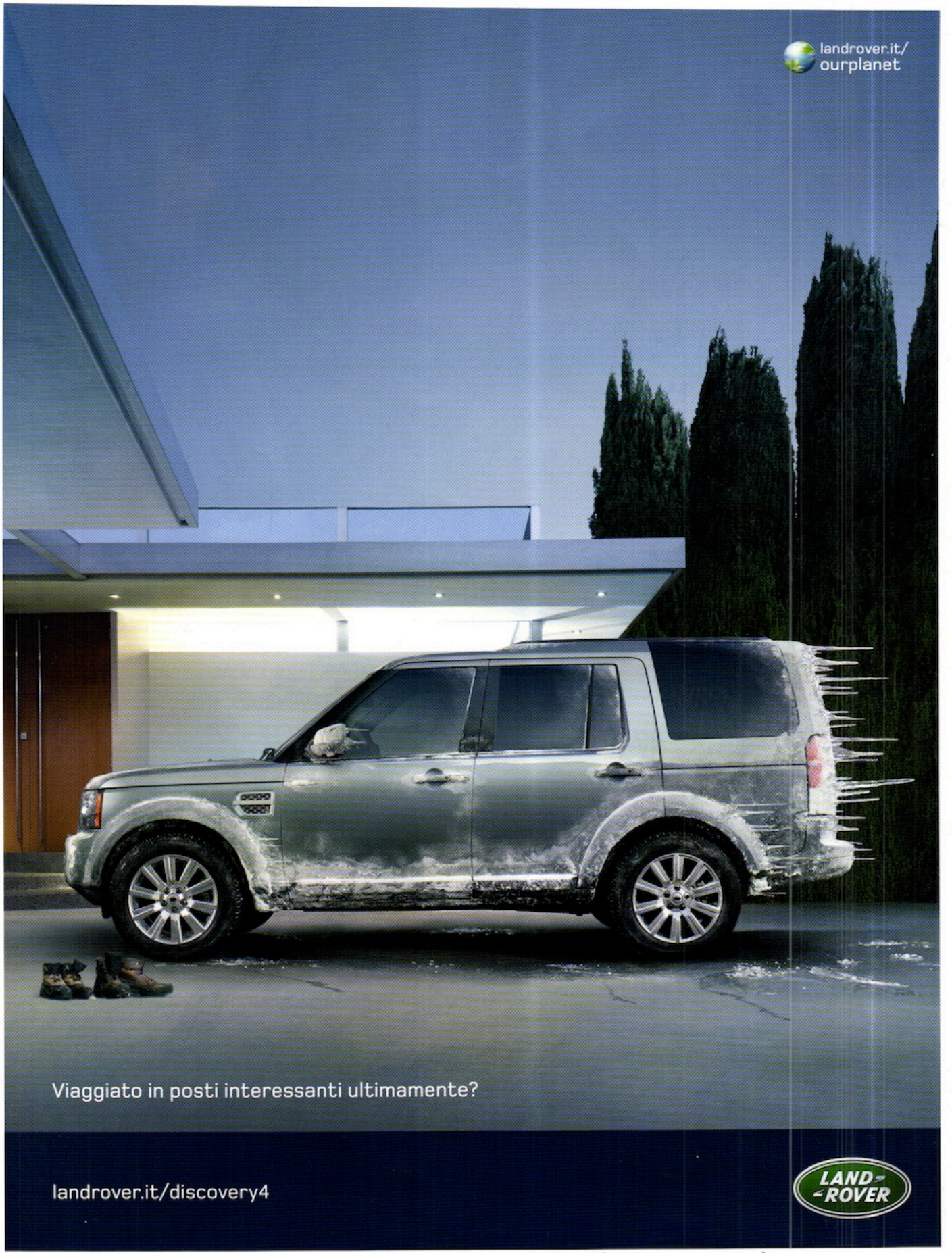
APPROFITTA SUBITO DI QUESTA OPPORTUNITÀ

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO 12 NUMERI	~~€ 54,00~~	€ 39,00	€ 15,00
2 ANNI 24 NUMERI	~~€ 108,00~~	€ 75,00	€ 33,00
3 ANNI 36 NUMERI	~~€ 162,00~~	€ 99,00	€ 63,00

SCEGLI DI ABBONARTI!

- **È CONVENIENTE**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!
- **È COMODO**
  Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!
- **È FACILE**
  ✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
  ✓ Chiama il n. 199.78.72.78*

*0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,25 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta iva inclusa



Land Rover consiglia Castrol. Scopri le soluzioni d'acquisto personalizzate di **LAND ROVER | FINANCE** (Freedom, Leasing e Rent).
Consumi da 8,5 a 8,8 litri/100 Km (ciclo combinato). Emissioni CO_2 da 224 a 230 g/Km.